



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**STANOVENÍ AKTIVNÍ ČÁSTI USAZOVACÍHO
PROSTORU DNOVÝCH SPLAVENIN**

DETERMINATION OF ACTIVE ZONE OF BED LOAD SEDIMENT TRAP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Sodomka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

BRNO 2018

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Václav Sodomka
Název	Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin
Vedoucí práce	doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

PODKLADY A LITERATURA

Fyzikální model.

Jandora, J., Šulc, J. 2006. Hydraulika. Brno: AN CERM.

Met-Flow S.A., 2002. UVP Monitor – Model UVP-XW-PSi with new software version 3. User's guide. Lausanne: Met-Flow S.A.

UVP Monitor – Model UVP-XW-PSi

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zadání

Student provede měření rychlostí UVP Monitorem XW-PSi, úrovně dna a úrovně hladiny hrotovým měřidlem na fyzikálním modelu prostoru pro usazování dnových splavenin při průtoku na počátku pohybu splavenin v přítokovém korytě. Ze změřených dat student vykreslí mapu hloubek, mapu rychlostí, mapu trajektorií částic a na základě nich stanoví aktivní část usazovacího prostoru.

Požadované výstupy

Pojednání o usazovacím prostoru dnových splavenin.

Pojednání o fyzikálním modelování.

Pojednání o měření rychlostí UVP Monitorem XW-PSi.

Změření rychlostního pole, úrovně dna a úrovně hladiny na fyzikálním modelu při průtoku na počátku pohybu částic v přítokovém korytě.

Přepočet změřených veličin na prototyp.

Vykreslení mapy rychlostního pole, mapy trajektorií částic a mapy hloubek.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin.

Závěr a zhodnocení.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané typ práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2018

Václav Sodomka

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....
podpis autora

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá stanovením aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin vodního díla Nové Heřminovy při průtoku na počátku pohybu splavenin v přítokovém korytě. Využívá již hotový fyzikální model usazovacího prostoru a provádí další zpřesňující měření chování navrhovaného objektu. Pro stanovení aktivní části prostoru využívá měření rychlostního pole ultrazvukem. K vyhodnocení používá program Surface-water Modeling System. Tyto informace mohou být využity pro další posouzení usazovacího prostoru dnových splavenin. Výsledky ukazují, že transportovaný dnový sediment se usazuje v prostoru vymezeném pro tento účel a nedochází k nepředvídaným jevům. Model se chová v mezích počátečních předpokladů. Je tedy správně navržen a bude sloužit svému účelu.

Klíčová slova

Aktivní část usazovacího prostoru, doba životnosti nádrže, splaveniny, rychlost proudění, ultrazvuk, vodní dílo Nové Heřminovy, zanášení vodní nádrže.

Abstract

The bachelor thesis deals with determination of the active zone of bed load sediment trap in the water reservoir of Nové Heřminovy. A ready-made physical model of the sediment space was used and more accurate measurements of behaviour of the proposed object were performed. Ultrasonic speed field measurement was used for determination of the active zone of the sediment space. The Surface-water Modeling System programme was applied for evaluation. This information can be used for further assessment of bed load sediment trap. The results show that transported bottom sediment is trapped in the space determined for this purpose and there are no unforeseen phenomena. The model behaves within the limits of the initial assumptions. That means it is correctly designed and it will be more likely to serve its purpose.

Key words

Active zone of sediment space, service life of reservoir, sediments, flow velocity, ultrasound, water reservoir of Nové Heřminovy, clogging of water reservoir.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

Bibliografická citace VŠKP

Václav Sodomka Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin. Brno, 2018. 51s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomáhali s touto prací. V první řadě mému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Zbyňku Zachovalovi, Ph.D. Především za jeho profesionální přístup, motivaci, ochotu a trpělivost. Dále musím poděkovat svým rodičům, přítelkyni a dalším za jejich podporu při studiu a psaní této práce.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

Obsah

1. Úvod	11
2. Cíl a metoda řešení	12
3. Usazovací prostor dnových splavenin	13
3.1 Lokalizace objektu	13
3.2 Účel usazovacího prostoru	14
4. Fyzikální modelování	15
4.1 Teorie	15
4.1.1 Podobnost.....	15
4.1.2 Meze podobnosti proudění vody.....	15
4.1.3 Meze podobnosti proudění dnových splavenin.....	15
4.2 Fyzikální model usazovacího prostoru.....	16
5. Měření.....	20
5.1 Rastrová síť	20
5.2 Úprava dna modelu před měřením	20
5.3 Měření úrovně dna	20
5.4 Měření úrovně hladiny	21
5.5 Měření rychlostí proudění	21
5.5.1 Charakteristika metody	22
5.5.2 Výhody metody.....	22
5.5.3 Praktické využití UVP	23
5.5.4 Vlastnosti ultrazvukového paprsku.....	25
5.5.5 Převodník	29
6. Vyhodnocení rychlostního pole, úrovně dna a úrovně hladiny	31
6.1 Postup měření.....	31
6.2 Přidávání detekovatelných částic	33
6.3 Způsob záznamu údajů.....	33
6.4 Vyhodnocení úrovně dna	34
6.5 Vyhodnocení úrovně hladiny	34
6.6 Vyhodnocení hloubky vody	35
6.7 Vyhodnocení x -ových složek rychlosti	36

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

6.8	Vyhodnocení y-ových složek rychlosti	36
6.9	Vyhodnocení celkové rychlosti	37
6.10	Vyhodnocení trajektorie částic	38
7.	Přepočet změřených veličin na prototyp	39
7.1	Měřítko modelu	39
7.2	Zrnitost materiálu v modelu	40
7.3	Průtok	40
8.	Vykreslení mapy rychlostního pole, mapy trajektorií částic a mapy hloubek	41
8.1	Mapa hloubek	41
8.2	Mapa rychlostního pole	42
8.3	Mapa trajektorií částic	43
9.	Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin	44
9.1	Vyhodnocení mapových podkladů	44
9.2	Výstup z mapových podkladů	44
10.	Závěr a zhodnocení	46
11.	Seznamy	47
11.1	Seznam obrázků	47
11.2	Seznam zkratk	48
11.3	Seznam veličin	48
11.4	Seznam tabulek	49
12.	Literatura	50

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

1. Úvod

Řeka Opava vzniká soutokem tří potoků Černé a Střední Opavy a Bílého potoka u Vrbna pod Pradědem (Zachoval, 2016). Potoky pramení na hlavním hřebeni Hrubého Jeseníku a stékají se ve výšce 550 m n. m. (Bpv). Opava se vlévá zleva do Odry. V horní části má řeka kamenité koryto s velkým sklonem a relativně zarostlými břehy, po povodních v řečišti bývají napadané stromy. Prudký sklon zmírňují jezy a spádové stupně. Řeka Opava je tok s významným transportem splavenin. Transportuje jak dnové splaveniny, tak plaveniny. Součástí transportu je i plaví především organického původu a splach (smyv) z půdy velmi jemných částic. Splach ani plaveniny se na formování koryta nepodílejí, protože proudí prakticky bez usazení níže po toku. Plaví má na formování koryta vliv, avšak jen velmi nahodilý. Na formování tvaru koryta řeky se nejvýrazněji projevují dnové splaveniny. Dnové splaveniny se do Opavy dostávají buď z koryt přítoků a erozních rýh svahů koryta anebo vzniknou vymíláním vlastního koryta po porušení dnové dlažby, případně vymíláním při formování nového koryta. Transport dnových splavenin je i při ustáleném proudění vody časově neustálený a plošně nerovnoměrný. V důsledku vymílání a usazování dochází ke změnám tvaru koryta vyvolávajících změny proudění vody a následně k nerovnoměrnému proudění dnových splavenin. Nerovnoměrnost transportu dnových splavenin je v příčném profilu způsobena rozdílným průtokem splavenin a rozdílnou velikostí transportovaných zrn.

Usazování splavenin v nádrži za vzniku nánosu patří k hlavním problémům postihujícím vodní nádrže. Aby bylo možno navrhnout účinná opatření sloužící k předcházení tohoto nepříznivého jevu, je zapotřebí znát rychlost zanášení a místo nejintenzivnějšího usazování splavenin. K určení rychlosti zanášení nádrže je nutné znát charakteristiky přítoku vody a splavenin. K sedimentaci splavenin dochází postupně od přítoku do nádrže v důsledku postupného zpomalování rychlosti proudění. Tento proces má za následek postupné ukládání frakcí od největších po nejmenší, protože se snižující se rychlostí se zmenšuje i velikost usazených částic splavenin. Z toho vyplývá, že pokud je známa rychlost proudění, je možno určit přibližnou vzdálenost poklesu částic pevných látek od vtoku do nádrže. Je-li známa vzdálenost poklesu, je známa i aktivní oblast usazování částic. Díky tomuto způsobu lze efektivně předejít komplikacím a lze pak navrhnout místo, kde bude docházet k nezbytnému odstraňování usazeného sedimentu, který zmenšuje průtočnou plochu. V konečném důsledku by mohlo dojít ke vzniku nánosu říční delty. Cílem návrhu usazovacího prostoru dnových splavenin bylo vymezit prostor v zátopě, ve kterém bude docházet k sedimentaci, a tím omezit usazování sedimentu na nežádoucích místech budoucí nádrže.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

2. Cíl a metoda řešení

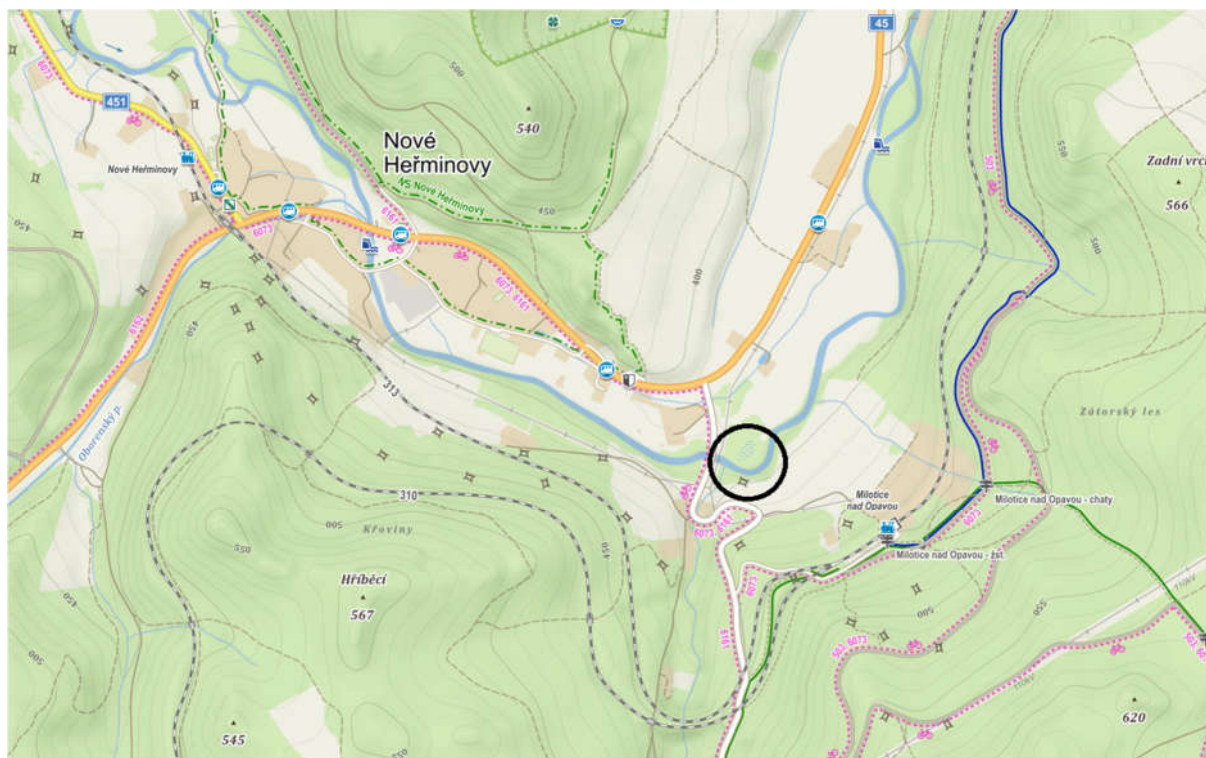
Cílem bakalářské práce bylo změření a vyhodnocení rychlostního pole a hloubky vody pro stanovení rozsahu aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin při počátku pohybu splavenin v přítokovém korytě. Postup stanovení vyžaduje znát rychlost a směr proudění v dané oblasti. Odhalí se, tak tranzitní proud a úplav. Metoda zvolená k měření rychlostí využívá ultrazvukové pulzy. Oproti klasické měrné vrtuli je méně náročná na výbavu a lze tedy s jedním přístrojem měřit větší rychlostní spektrum. Jelikož se jedná o usazovací prostor dnových splavenin, pak tam, kde se dnové splaveniny mohou transportovat a usadit, tam je aktivní část usazovacího prostoru. Jde o pás tranzitního proudu s rychlostí menší než v přítokovém korytě. Neaktivní část je ta, kde se dnové splaveniny nemohou transportovat, tedy v úplavu. K usazování dnových splavenin má docházet v místech mezi klidovou zónou a aktivní zónou. S klesající rychlostí proudění v důsledku snižování sklonu dna a ztrátám třením po délce, klesají, díky gravitaci i sedimenty. Nejdříve klesnou velká zrna, která mají větší hmotnost a jsou tudíž více stahována gravitací ke dnu a při nižších a nižších rychlostech klesají ke dnu stále menší a lehčí zrna. Do klidové zóny, kde už voda takřka neproudí, se dostanou jen částice plavenin a plávi. Všechny částice dnových splavenin sedimentují v aktivní zóně, neboť kam nejde proud, nejdou ani splaveniny.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

3. Usazovací prostor dnových splavenin

3.1 Lokalizace objektu

Usazovací prostor by se měl nacházet v ochranném prostoru navrhované nádrže Nové Heřminovy v povodí Odry. Budoucí přehrada je projektována v blízkosti obce Nové Heřminovy. Protože se jedná o horní úsek řeky Opavy, dochází v těchto oblastech k významnému transportu splavenin v důsledku velkého sklonu řeky. Aby nedocházelo k zanášení vlastní navrhované nádrže byl navržen usazovací prostor splavenin. Jako příhodný byl zvolen říční melandr v bezprostřední blízkosti silničního mostu přes řeku Opavu mezi Novými Heřminovými a Miloticemi. Oblast zájmového objektu je vyznačena černým kruhem na Obr. 1.



Obr. 1. Situace lokality (www. mapy.cz)

Řeka zde mění svou dosud převážně jihovýchodní trasu na severovýchodní směr, který si uchová až do Krnova. Blízkost mostu je výhodná i z dopravního hlediska. Jak v době výstavby, tak při těžení nánosů.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

3.2 Účel usazovacího prostoru

Účelem usazovacího prostoru je zachytit především dnové splaveniny v horní části nádrže (v retenčním prostoru) a uměle je transportovat pod nádrž a eliminovat tak zanášení nádrže. Na množství dnových splavenin má největší vliv formování koryta. Například vymílání břehů nebo dna v případě tvorby nového koryta, ke kterému při povodních na řece Opavě nad obcí Nové Heřminovy dochází. S ohledem na tyto skutečnosti byl navržen usazovací prostor splavenin, ve kterém bude docházet k zachytávání splavenin.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

4. Fyzikální modelování

V usazovacím prostoru dnových splavenin (Zachoval, 2016) Bylo modelováno proudění vody s volnou hladinou, proudění dnových splavenin větších než 15 mm (prototyp), deformace dna a třídění zrn.

4.1 Teorie

Podobnost dvou jevů se dělí dle podobnosti jednotlivých charakteristik jevů. V hydrotechnice se používá podobnost geometrická, kinematická, dynamická a mechanická (Čábelka a Gabriel, 1987). Požadavkem je splnit takovou podobnost, která umožňuje splnit zadané cíle, tedy v případě proudění vody a splavenin splnit podobnost mechanickou.

Pro splnění principu dominantní síly a automodelovosti ve vztahu k Reynoldsovu kritériu je třeba dodržet určité podmínky. Tyto podmínky se nazývají meze podobnosti (Čábelka a Gabriel, 1987).

4.1.1 Podobnost

Měřítka délek M_l musí být ve všech třech směrech x, y, z zachováno (geometrická podobnost)

$$M_{lx} = M_{ly} = M_{lz} = M_l. \quad (4.1)$$

Pro splnění mechanické podobnosti je nutná platnost rovnice (4.1).

Pro přepočet hodnot veličin v daných podmínkách musí být dodrženo Froudovo kritérium (princip dominantní síly – síla tíhová)

$$Fr = \frac{v}{(g \cdot l)^{1/2}}, \quad (4.2)$$

kde v je charakteristická rychlost, g je tíhové zrychlení a l je charakteristická délka.

4.1.2 Meze podobnosti proudění vody

Pro případ proudění vody je třeba splnit (Zachoval, 2016), aby:

- Byl dodržen stejný režim proudění (dodrženo automaticky).
- Proudění bylo plně turbulentní $Re > Re_{kv}$.
- Shodnost součinitele tření λ , vychází ze shodnosti relativní drsnosti Δ / R .
- Hloubka vody na modelu byla všude větší než minimální přípustná hloubka $h > h_{min} = 0,015$ m, aby se neprojevil vliv povrchového napětí daného Weberovým kritériem We .
- Rychlost proudu byla větší než 0,23 m/s, aby gravitační vlny vzniklé na hladině nebyly ovlivněny povrchovým napětím, opět dáno Weberovým kritériem.

4.1.3 Meze podobnosti proudění dnových splavenin

Pro případ proudění dnových splavenin je dále třeba splnit (Zachoval, 2016), aby:

- Proudění bylo v hydraulicky drsném korytě $Re_d > Re_{d,min} = 400$.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

- Splaveniny nepřecházely do suspenze $Ro > Ro_{min} = 2,5$.
- Neprojevilo se vliv soudržnosti $d > d_{min} = 0,5$ mm.
- Vznikaly stejné dnové útvary $Re_d > Re_{d,min}$.
- Zrna měla stejný tvar (poměr mezi rozměry a , b , c) a zaoblenost.

4.2 Fyzikální model usazovacího prostoru

Vybudování fyzikálního modelu prostoru pro usazování dnových splavenin a navazujících úseků koryta s pohyblivým dnem bylo provedeno v měřítku 1:30. (Zachoval, 2016) V rámci předešlých prací a nebylo tudíž předmětem zhotovení této bakalářské práce. Pro ilustraci rozsahu jsou na následujících obrázcích (Obr. 2., Obr. 3., Obr. 4. a Obr. 5.) zobrazeny fotografie modelu.

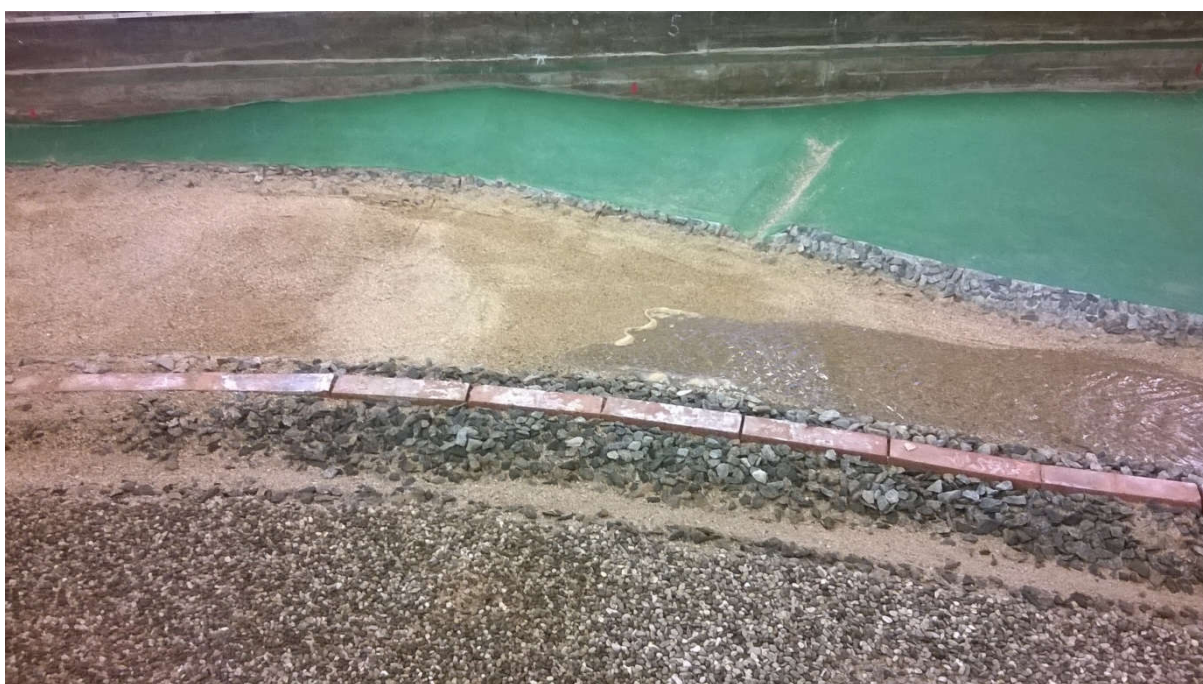


Obr. 2. Celkový pohled na model

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 3. Horní část usazovacího prostoru



Obr. 4. Střední část usazovacího prostoru

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 5. Dolní část usazovacího prostoru

Dále vidíme na Obr. 6. vzorek materiálu dna. Na následujícím Obr. 7. spatříme částice přidávané do proudu, které byly nezbytné pro provoz přístroje UVP.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 6. Částice, kterými bylo modelováno dno



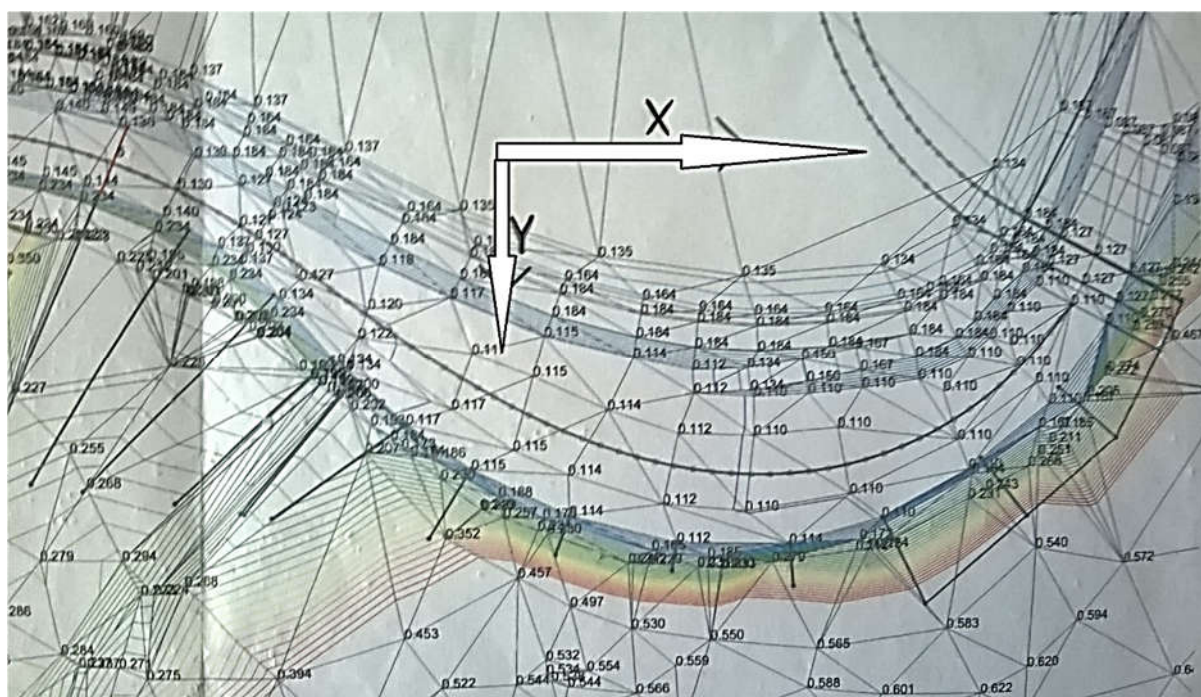
Obr. 7. Částice, které byly přidávány do proudu

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

5. Měření

5.1 Rastrová síť

Samotné měření probíhalo pouze v rámci usazovacího prostoru dnových splavenin. Proces měření byl zahájen vyhotovením rastrové sítě sestávající přibližně z 220 bodů. Velikost jednoho rastrového pole na fyzikálním modelu činila 0,1 m ve směru X a 0,2 m ve směru Y. Směry X-ové a Y-ové osy jsou vyznačeny na Obr. 8.



Obr. 8. Digitální model terénu modelu (Zachoval, 2018) a vyznačený souřadný systém

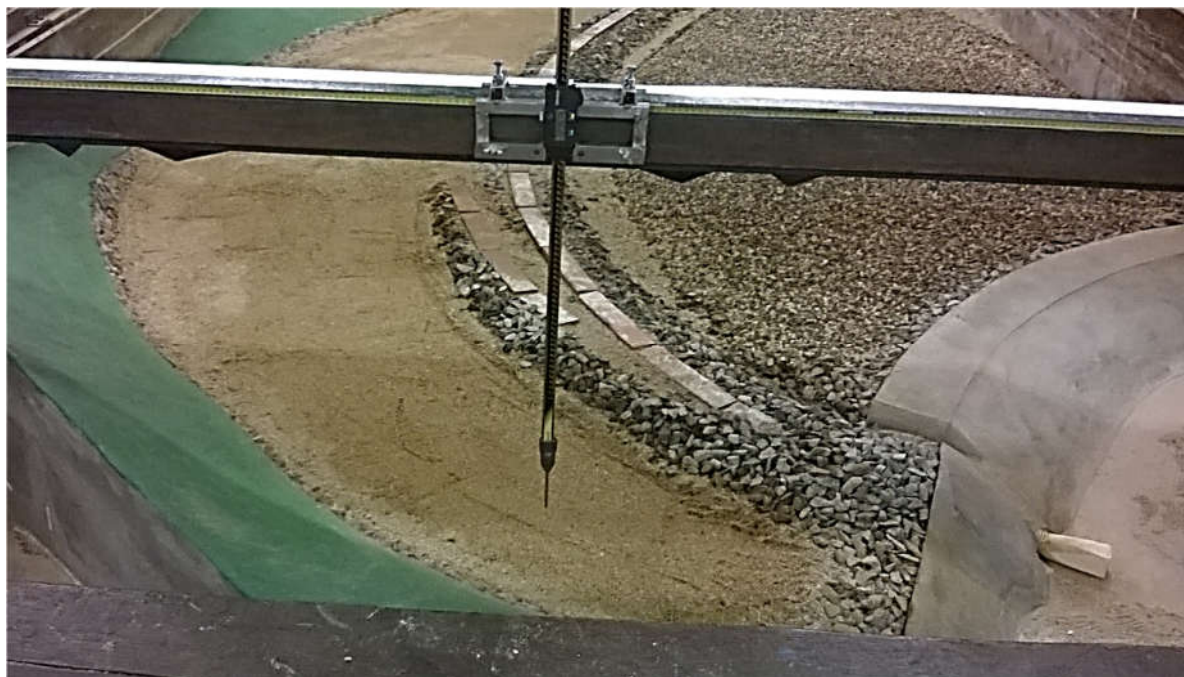
5.2 Úprava dna modelu před měřením

Před měřením bylo zapotřebí vyrovnat dno fyzikálního modelu na projektovanou úroveň. Nejprve bylo pomocí zednické lžice upraveno dno modelu usazovacího prostoru splavenin. Jako materiál pro tuto úpravu posloužil středně zrný písek definované zrnitostní křivky. Další fází byly úpravy terénních proporcí modelu, bylo použito hladítko, s jehož pomocí byly odstraněny drobné nerovnosti, aby dno modelu odpovídalo co nejvíce reálným podmínkám budoucího provozního stavu objektu.

5.3 Měření úrovně dna

Nejdříve byla změřena skutečná úroveň dna v bodech rastru. Za tímto účelem bylo použito posuvné měřidlo upevněné na pohyblivém pojezdu.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 9. Měření úrovně dna pomocí hrotu připevněného na posuvném měřidle

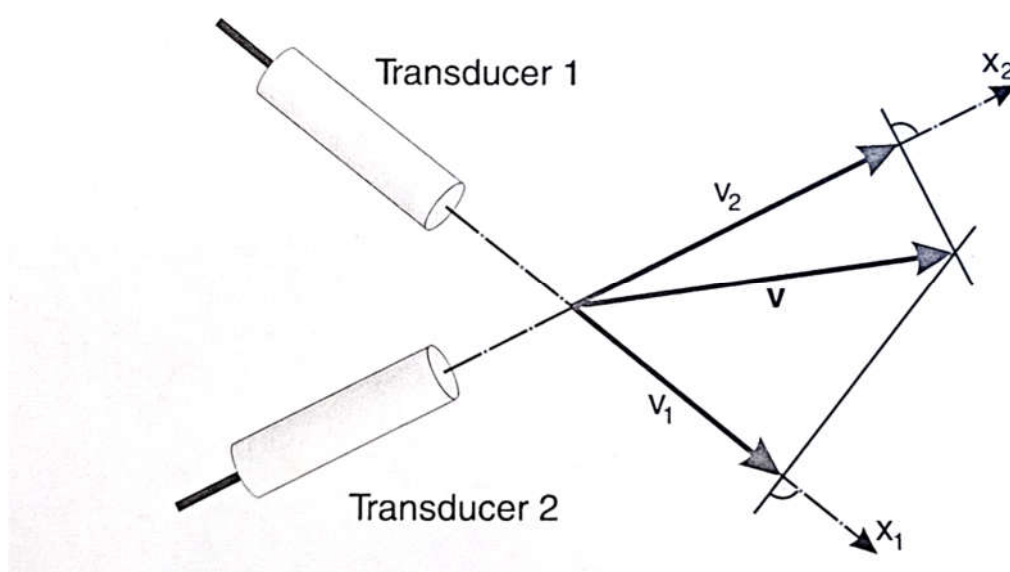
5.4 Měření úrovně hladiny

Měření úrovně hladiny probíhalo při konstantním průtoku 5 l/s, což je průtok při počátku pohybu splavenin v přítokovém korytě a konstantní teplotě vody 17 °C. Úroveň vodní hladiny byla měřena hrotovým měřidlem v jednotlivých bodech rastru. Na přítoku do sledovaného prostoru byl sklon hladiny největší a v celé střední části se postupně zmenšoval, v dolní části byla hladina vodorovná.

5.5 Měření rychlostí proudění

Rychlost proudění byla měřena UVP Monitorem XW-PSi nejprve ve směru X a poté i ve směru Y. Výhodou UVP Monitoru je, že využívá k měření ultrazvukové pulzy a není tedy proti klasické měrné vrtuli tolik náročná na směřování měřidla přímo proti proudu. Nezměří se hned hledaná rychlost proudění v daném bodě, ale odpadá nutnost sledování směru, kterým proud směřuje. Dochází tak ke zpřesnění protože odpadá měření úhlu. Ve výsledku lze skládat vektory a dojít tak ke skutečné rychlosti i směru proudění. Princip skládání vektorů je zobrazen na obrázku (Obr. 10.).

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 10. Skládání složek vektorů (Manual Met- Flow SA, 2000)

Měření probíhalo ve dvou etapách. První fáze zahrnovala měření ve směru osy X a druhá byla určena na měření ve směru osy Y. Všechna měření byla provedena v 60-procentní hloubce daného rastrového bodu (předpoklad logaritmického tvaru rychlostního profilu). Důvodem k takto zvolené hloubce je rozložení svislé rychlosti proudění v otevřeném korytě, kde právě zde je maximální rychlost proudění. Vzdálenost sondy od měřeného bodu byla konstantní a rovnala se 0,02 m. Změření jednoho bodu trvalo přibližně 20 s.

5.5.1 Charakteristika metody

Jedná se o metodu využívanou při měření okamžitého rychlostního profilu v kapalině podél osy ultrazvukového paprsku. Sleduje posuv frekvence ultrazvuku odraženého od malých částic v kapalině se zvoleným časovým rozlišením. Měření se provádí v tekutinách, nejčastěji ve vodě, ale lze ji použít i pro neprůhledné kapaliny, jako je například kal, majonéza, olej či další. Jedná se o bezkontaktní metodu k měření rychlosti mikronových částic unášených tekutinou.

5.5.2 Výhody metody

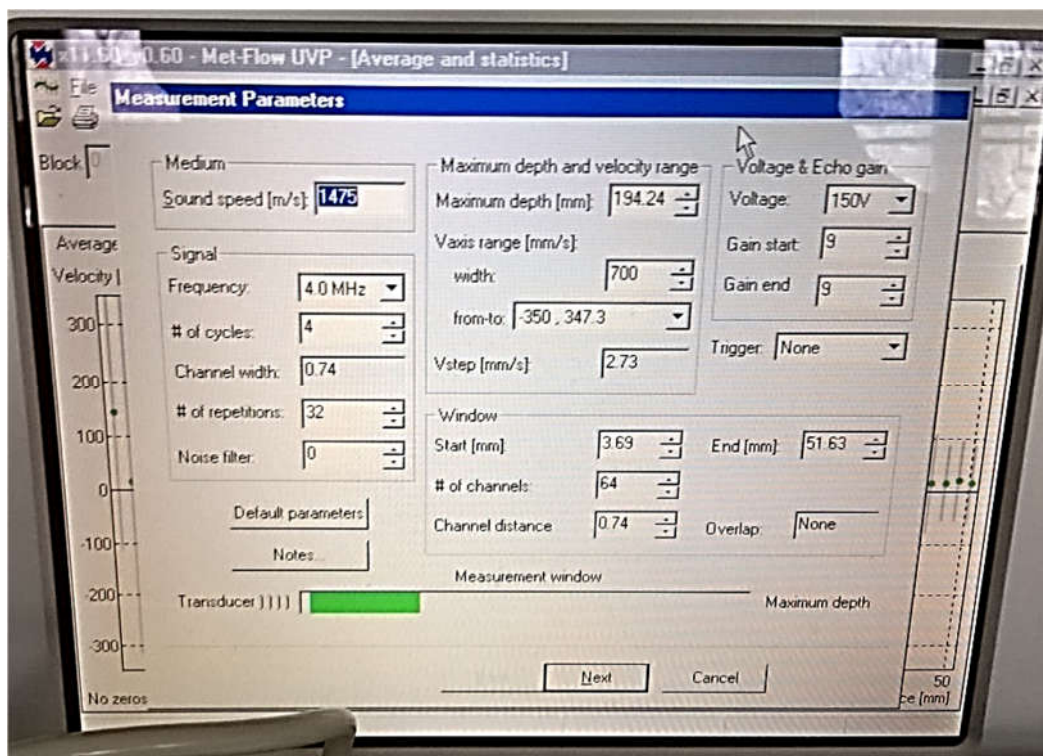
Rychlost může být měřena ve velmi širokém rozsahu. Měří kladné i záporné hodnoty rychlosti. Metoda poskytuje vysoké prostorové rozlišení, které sahá až do méně než milimetru. Rovněž je možno využít vysoké časové rozlišení až do několika milisekund. Vzdálenost měřeného bodu od přístroje lze nastavit, což umožňuje měření v libovolné vzdálenosti (v rámci specifického rozsahu), a to i přes stěnu nádrže. Hloubka měření v kapalině není omezená, měření lze provádět od milimetrů až do metrů. Naměřené hodnoty se okamžitě zobrazí na přístroji nebo v průměrné hodnotě za určité časové období. Z takto získaných dat v jednotlivých naměřených profilech je možno sestavit statistické hodnoty rychlostí proudění v daném místě. Lze tak odhalit případné turbulence a výkyvy rychlostního spektra. Na základě těchto dat lze vyhodnotit prostorové i časové korelace a další hodnoty.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

Nejčastějším výstupem z těchto měření je mapa proudového pole. Pokud je známá hodnota šíření ultrazvuku v tekutině, není třeba přístroj kalibrovat.

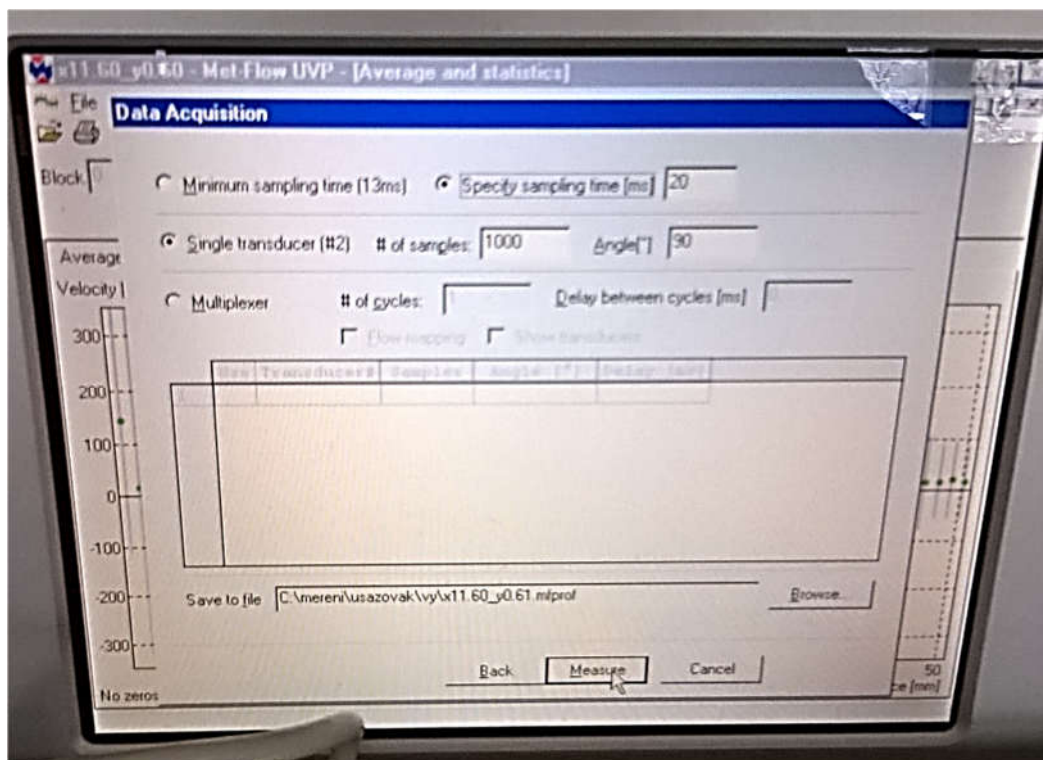
5.5.3 Praktické využití UVP

Tento způsob měření nabízí široké spektrum použití v místech, kde to nebylo před vynálezem tohoto postupu možné, nebo pouze s výraznou odchylkou. Metoda nabízí rychlé, bezobslužné měření, a to i v silně znečištěných kapalinách. Uplatní se jak v chemickém, tak v potravinářském průmyslu. S touto metodou lze podrobně měřit rychlosti v otevřených i uzavřených objektech. Měření může probíhat i v dlouhodobém horizontu.

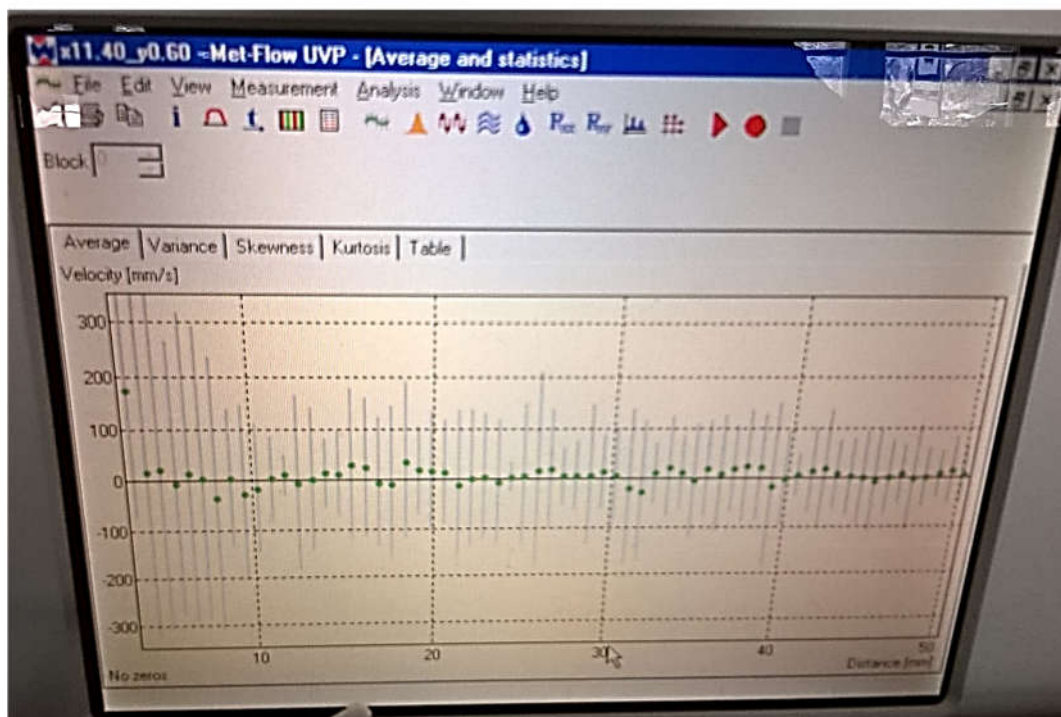


Obr. 11. První stránka - nastavení parametrů měření

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 12. Druhá stránka při nastavení měřicího programu – nastavení parametrů měření

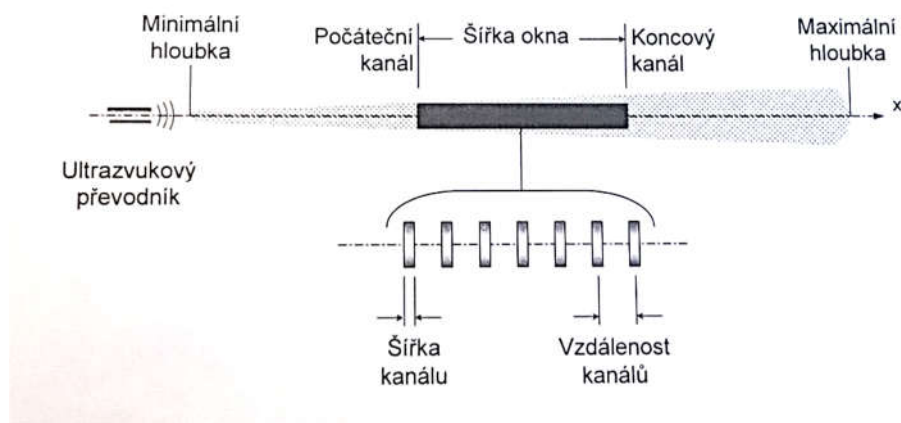


Obr. 13. Výsledky měření jednoho směru v jednom bodě – průměry a statistické hodnoty

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

5.5.4 Vlastnosti ultrazvukového paprsku

Frekvence ultrazvukové vlny se obvykle pohybuje mezi 100 kHz a 50 MHz. Toto měření využívá pouze podélné vlnění, přičemž je sledována série stlačení a zředění. Platí zde základní vlnové rovnice.



Obr. 14. Měřicí okno UVP Monitoru (Manual Met- Flow SA, 2000)

Vlnová délka λ se stanoví jako podíl rychlosti zvuku c a frekvence ultrazvuku f , tedy

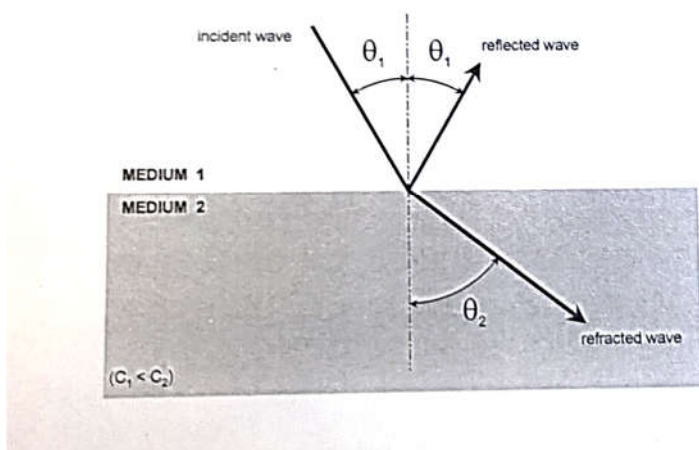
$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (4.1)$$

Hodnota akustické impedance Z se stanoví jako násobek měrné hmotnosti ρ a rychlosti zvuku c , tedy

$$Z = \rho \cdot c \quad (4.2)$$

Impedance: (z lat. *impedire* – překážet, vadit) souhrnné označení všech překážek, které jsou kladeny časově proměnnému přenosu energie. Impedance posunuje časový průběh následků y , např. proudu, proti jeho příčině x . (Das Bertelsmann Lexikon, 2002)

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

Obr. 15. Lom na rozhraní - Fresnelův zákon (Manual Met- Flow SA, 2000)

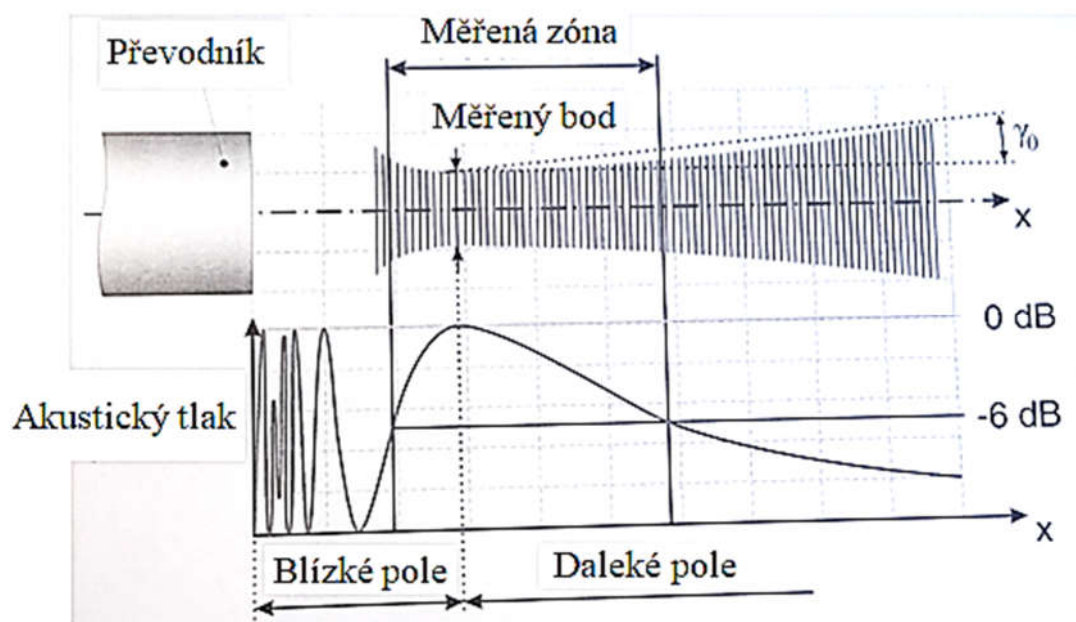
Absorpce energie – Beerův zákon. Hodnotu akustického tlaku na Z -ové souřadnici $P(Z)$ se vypočítá jako násobek počátečního akustického tlaku P_0 a Eulerova čísla e , které je umocněno zápornou hodnotou násobku absorpčního koeficientu α a Z -ové souřadnice Z , tedy

$$P(Z) = P_0 \cdot e^{-\alpha Z} \quad (4.3)$$

Délka blízkého pole N se vypočítá jako podíl hodnot, kdy v čitateli je násobek průměru aktivního elementu D umocněný na druhou a vysílací frekvence a ve jmenovateli je čtyřnásobek rychlosti zvuku c , tedy

$$N = \frac{D^2 \cdot f_0}{4 \cdot c} \quad (4.4)$$

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 16. Zvukové pole generované převodníkem (Manual Met- Flow SA, 2000)

Délka blízkého pole N [mm] ve vodě (c = 1 480 m/s)				
Průměr převodníku D [mm]	f = 1 MHz λ = 1.48 mm	f = 2 MHz λ = 0.74 mm	f = 4 MHz λ = 0.37 mm	f = 8 MHz λ = 0.19 mm
1	0.17	0.35	0.7	1.4
2	0.7	1.4	2.7	5.4
4	2.7	5.4	10.8	21.6
5	4.2	8.4	16.9	33.8
8	10.8	21.6	43.2	86.5
10	16.9	33.8	67.6	135.1
20	67.6	135.1	270.3	540.5

Obr. 17. Příklady délky blízkého pole ve vodě (Manual Met- Flow SA, 2000)

Divergence ultrazvukového paprsku γ_0 odpovídá funkci sinus na mínus prvou z násobku 0,51 a hodnoty vlnové délky λ děleného hodnotou průměru aktivního elementu D .

$$\gamma_0 = \sin^{-1} \left(0,51 \cdot \frac{\lambda}{D} \right) \quad (4.5)$$

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

	Divergence paprsku v dalekém poli $\gamma [^\circ]$ ve vodě ($c = 1\,480\text{ m/s}$, pro pokles -6 dB)			
Průměr převodníku D [mm]	f = 1 MHz $\lambda = 1.48\text{ mm}$	f = 2 MHz $\lambda = 0.74\text{ mm}$	f = 4 MHz $\lambda = 0.37\text{ mm}$	f = 8 MHz $\lambda = 0.19\text{ mm}$
1	49.0	22.2	10.9	5.4
2	22.2	10.9	5.4	2.7
4	10.9	5.4	2.7	1.4
5	8.7	4.3	2.2	1.08
8	5.4	2.7	1.4	0.68
10	4.3	2.2	1.08	0.54
20	2.2	1.1	0.54	0.27

Obr. 18. Divergence paprsku v dalekém poli (Copyright 1999 by Met- Flow SA, 2000)

Časové zpoždění t mezi vyslaným a přijatým signálem se vypočítá jako podíl dvojnásobku vzdálenosti odrazné částice x od převodníku a rychlosti zvuku c .

$$t = \frac{2 \cdot x}{c} \quad (4.6)$$

Dopplerův posun na částici f_d podělený dvojnásobkem vysílací frekvence f_0 odpovídá rychlosti v směřující do osy převodníku poděleného rychlostí zvuku c .

$$\frac{v}{c} = \frac{f_d}{2 \cdot f_0} \quad (4.7)$$

Dopplerův jev: Se projeví zvýšením výšky tonu (kmitočtu) při přibližování k stacionárnímu zvukovému zdroji, nebo poklesem při vzdalování. Projevuje se posuvem spektrálních čar, např. U světla dochází k posuvu do červeného spektra při oddalování a naopak při přibližování dochází k posuvu do modrého spektra. (Das Bertelsmann Lexikon, 2002)

Měření probíhá pod kritickým úhlem, což znamená, že dochází k tzv. totálnímu odrazu vlny zpět do přístroje. (Manual Met- Flow SA, 2000) Kritický úhel závisí na hustotě rozhraní a je obzvláště důležitý, pokud měření je prováděno přes stěnu. Při nedodržení kritického úhlu nedojde k totálnímu odrazu ultrazvukových vln zpět do přístroje, což způsobí zkreslení výsledků měření. Při šíření mediem akustická vlna ztrácí energii, což je zapříčiněno absorpcí energie dle Beerova zákona. Ztráty exponenciálně rostou se vzdáleností, a proto pokud je zapotřebí měřit na delší vzdálenosti, je nutno dodat více energie.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

Z tohoto důvodu je vhodnější, pokud je to možné, provádět měření na kratší vzdálenosti. Absorpční koeficient α závisí na materiálu, frekvenci a teplotě.

5.5.5 Převodník

Přístroj s UVP pracuje pomocí převodníku, což je zařízení schopné transformovat elektrický signál na ultrazvukové vibrace neboli vlny. Sonda vysílá tyto vlny do měřeného média, obklopujícího povrch tohoto převodníku. Toto zařízení funguje i opačně. Je zároveň i přijímačem odražených ultrazvukových vln, které následně přeměňuje na elektrický signál.

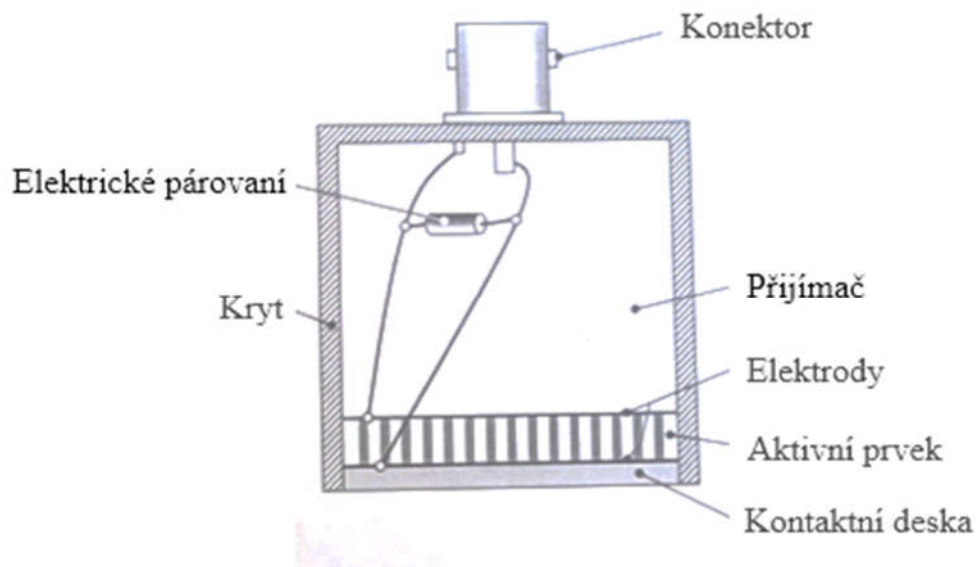


Obr. 19. Převodník uchycený k digitálnímu posuvnému měřítku

Tento převodník je základní fyzickou částí přístroje UVP a jsou na něj kladeny mnohé požadavky. Je to zejména mechanická robustnost, dlouhodobá odolnost vůči vodě a jiným chemikáliím. Odolnost vůči zvýšeným teplotám je další nezbytnou podmínkou správného fungování přístroje. Pro samotné měření je nutná také dobrá elektricko-akustická převodní účinnost. Soulad osy ultrazvukového paprsku s mechanickou osou převodníku je další nutným předpokladem fungování přístroje. Kvalitní převodníky se vyznačují schopností

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

vysílat velmi krátké pulsy a rychle se přepínat z vysílání na příjem. Jeden převodník měří pouze jeden směr vektoru rychlosti do osy přístroje. Pro kompletní dvourozměrné měření daného bodu je nutné mít dva převodníky nebo provést dvě měření.



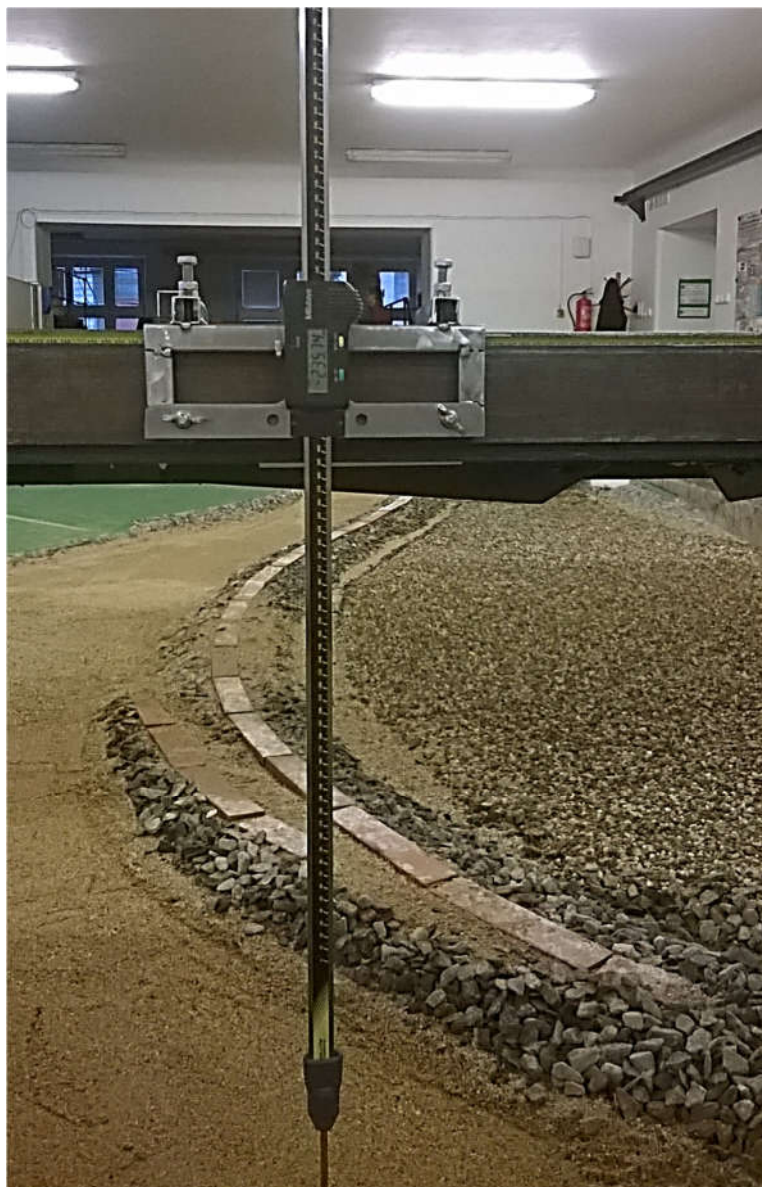
Obr. 20. Schéma řezu ultrazvukovým převodníkem (Manual Met-Flow SA, 2000)

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

6. Vyhodnocení rychlostního pole, úrovně dna a úrovně hladiny

6.1 Postup měření

V zadaném rastru byl první měřený údaj úroveň dna. Druhý měřený údaj byla úroveň hladiny. Měření obou údajů bylo realizováno pomocí digitálního posuvného měřidla vybaveného hrotem a připevněného na konstrukci pojezdu. Sestava je zobrazena na Obr. 22.



Obr. 21. Měřidlo vybavené hrotem a připevněné na konstrukci pojezdu

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

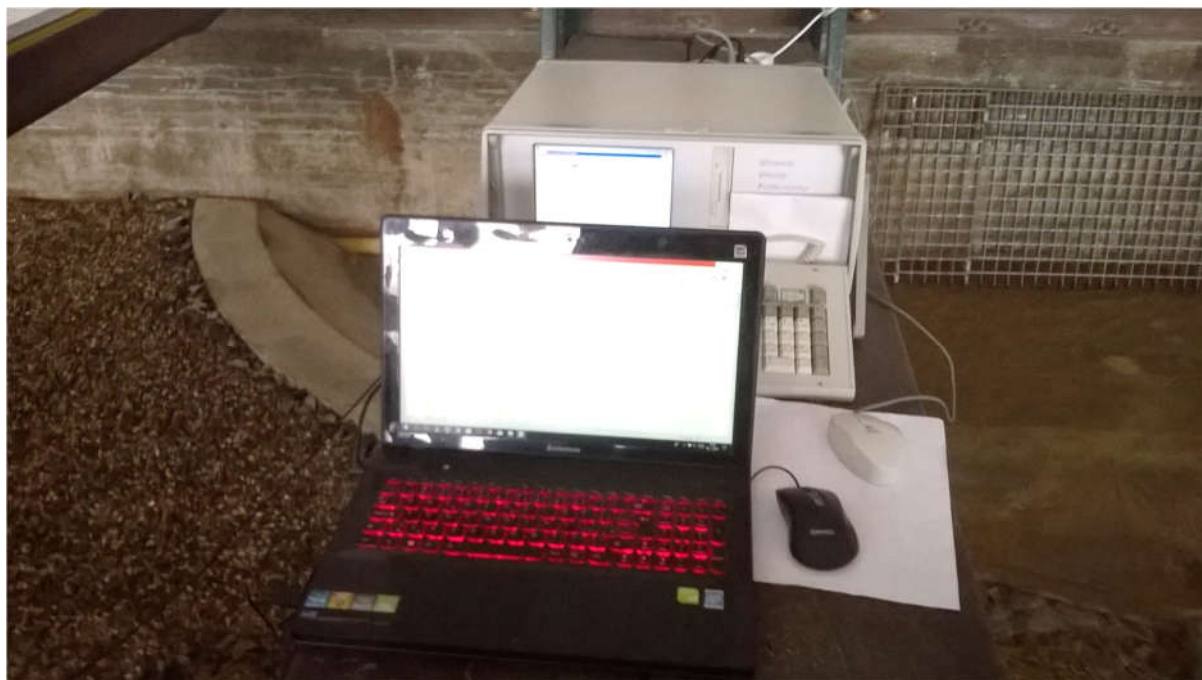
Jako nulový fixní bod pro měření úrovně dna a úrovně hladiny posloužil vodorovný kovový práh. Byl umístěn u vtoku na fyzikální model. Je zobrazen na Obr. 23.



Obr. 22. Vodorovný práh sloužící co by fixní bod při vtoku na fyzikální model

Hloubka vody v jednotlivých bodech rastru byla vypočítána jako rozdíl úrovně hladiny a úrovně dna. Následně byla určena rychlost proudění ve směru osy X a poté byla určena ve směru osy Y. Všechna měření byla provedena v 60-procentní hloubce daného rastrového bodu. Tímto způsobem byla získána potřebná data, aby výpočetní software vykreslil digitální model terénu usazovacího prostoru dnových splavenin a mapy veličin. Z prvotního vyhodnocení vyplynulo, že UVP nezaznamenává nejvyšší hodnoty proudění ve správných částech koryta. Výsledky neodpovídaly prostému pohledu, neboť tam, kde byly vlny na hladině největší, hlásil přístroj UVP jen mírný proud. Nepotvrdil se tak předpoklad, že voda obsahuje dostatek částic, díky kterým by mohl přístroj UVP pracovat. Bylo nutné provést korekci dat. Více v další kapitole.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 23. V popředí notebook pro zaznamenání údajů a v pozadí přístroj pro UVP-XW-PSi

6.2 Přidávání detekovatelných částic

Po částečném vyhodnocení výsledků byla zjištěna odchylka od předpokládaných hodnot a z tohoto důvodu bylo nutno přidat do proudu částice jemného písku. Pro tento účel byl použit jemně zrnitý písek s frakcí menší než 0,5 mm. Touto úpravou byly vytvořeny takové podmínky, které umožňovaly správné fungování měřicího přístroje a poskytovaly věrohodná data. Po aplikování uvedené příměsi se měření přístroje zlepšilo a výsledky odpovídaly předpokládaným teoretickým hodnotám. Příčinou původních komplikací při měření rychlosti byl příliš malý obsah částic unášených proudem. V důsledku této skutečnosti nebyl měřicí přístroj schopen zaznamenat částice rozptýlené ve vodě. Kapalina byla příliš čistá.

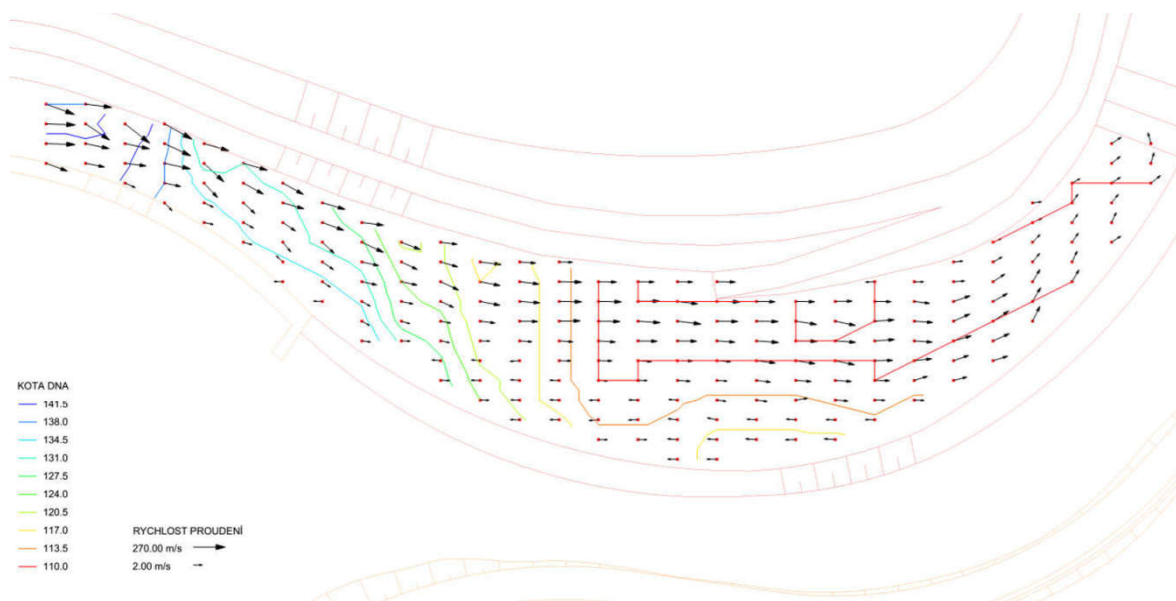
6.3 Způsob záznamu údajů

Všechny naměřené údaje byly zaznamenány do tabulky v MS Excelu, ve které byla připravena vstupní data pro výpočetní software na vykreslení mapy. Tabulka obsahovala sedm sloupců. V prvním sloupci byly zapsány hodnoty x-ových souřadnic, v druhém hodnoty y-ových souřadnic, třetí sloupec obsahoval z-ové souřadnice. V těchto třech sloupcích byly uvedeny hodnoty popisující tvar modelu. Ve čtvrtém sloupci byla zapsána z-ová souřadnice hladiny při stanoveném průtoku. Sloupec číslo pět sloužil k výpočtu hloubky, a to jako rozdíl hodnot ve čtvrtém a třetím sloupci. Šestý a sedmý sloupec byly určeny k záznamu hodnot složek vektorů rychlosti – šestý x-ového a sedmý y-ového vektoru. Po vyplnění všech neznámých údajů do tabulky byly pomocí softwarového programu vytvořeny tři mapy – mapa rychlostního pole, mapa trajektorie částic a mapa hloubek.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

6.4 Vyhodnocení úrovně dna

Úroveň dna je vyhodnocena izoliniemi na Obr. 24. Na mapě je vidět klesající trend ve směru osy X. Dno v první třetině prostoru klesá výrazným tempem. Naproti tomu ve zbylé části prostoru je sklon jen mírný. Pro představu je na Obr. 24 šipkami zobrazena i rychlost proudění.

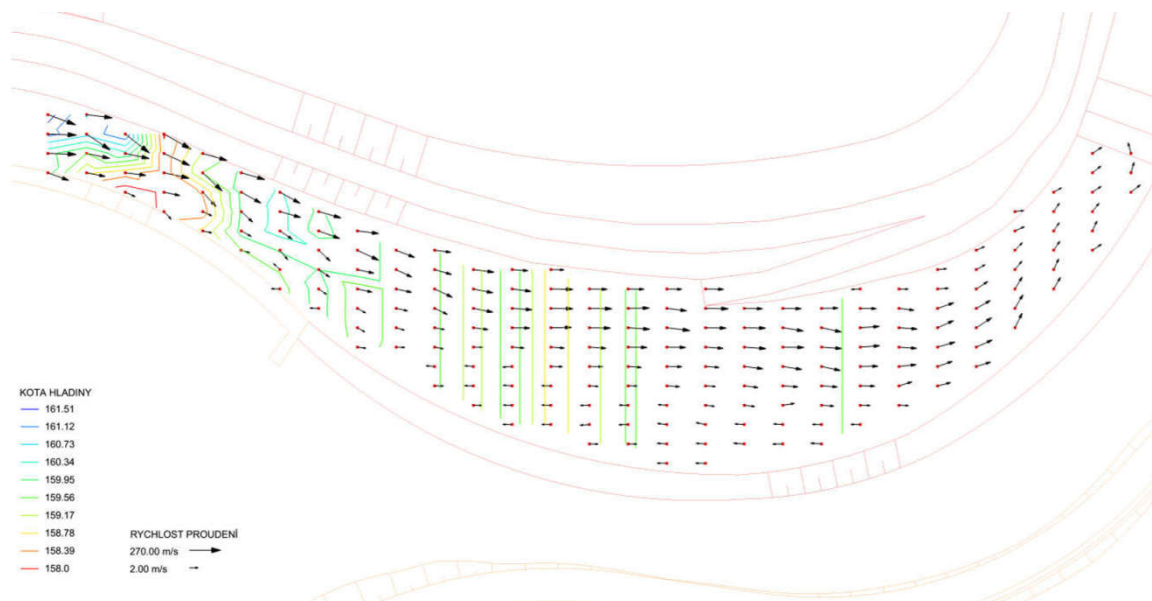


Obr. 24. Úroveň dna

6.5 Vyhodnocení úrovně hladiny

Úroveň hladiny je vyhodnocena izoliniemi na Obr. 25. Na mapě je vidět klesající trend ve směru osy X, podobně jako na mapě dna. Hladina v první třetině prostoru rychle klesá. Naproti tomu ve druhé třetině prostoru je její sklon jen mírný a v poslední třetině je hladina zcela vodorovná. Pro představu je na Obr. 25 šipkami zobrazena i rychlost proudění.

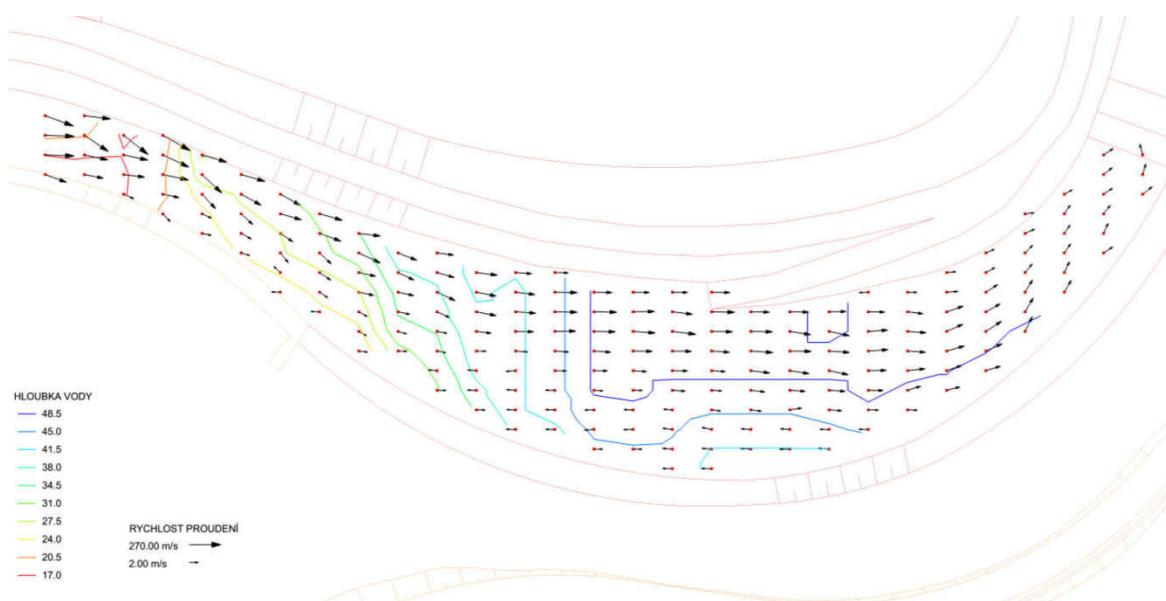
Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 25. Úroveň hladiny

6.6 Vyhodnocení hloubky vody

Třetí vykreslená mapa (Obr. 26) zobrazuje hloubku vody, která byla vypočítána z hodnoty předešlých dvou map. Na mapě na Obr. 26 je vidět oproti předchozím mapám stoupající trend ve směru osy X. Hloubka vody v první třetině prostoru není nijak velká a jen mírně stoupá. Naproti tomu ve druhé třetině prostoru se začíná hloubka zvětšovat a v poslední třetině je už třikrát větší než na přítoku do objektu. Dále však neroste a zůstává až do konce objektu konstantní. Pro představu je na něm šipkami zobrazena i rychlost proudění.

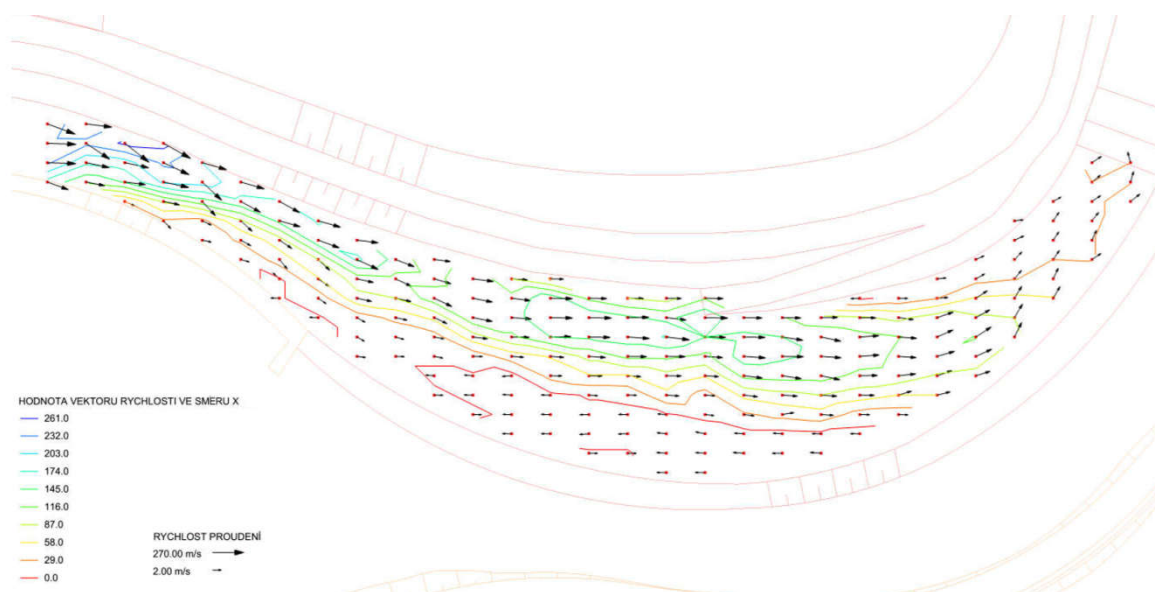


Obr. 26. Hloubka

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

6.7 Vyhodnocení x-ových složek rychlosti

Čtvrtá vykreslená mapa x-ových složek rychlosti vychází z dat z měření UVP Monitorem v x-ovém směru. Na mapě na Obr. 27 je vidět podélné proudění ve směru x a lze už rozpoznat hlavní proud. Rychlost vody je na začátku v celém profilu koryta nejvyšší, ale záhy se rozděluje a pomyslně dělí profil na rychlou část, kde je rychlejší proud a pomalou část, kde je minimální proudění. Je zde klidová zóna. V prvních dvou třetinách prostoru je zachováno toto rozdělení s tím, že rychlost v proudící části pozvolna klesá. Ve druhé třetině prostoru je proud pouze mírný, ale zato rozdělen do celého příčného koryta. Pro představu je na něm šipkami zobrazena i rychlost celkového proudění.

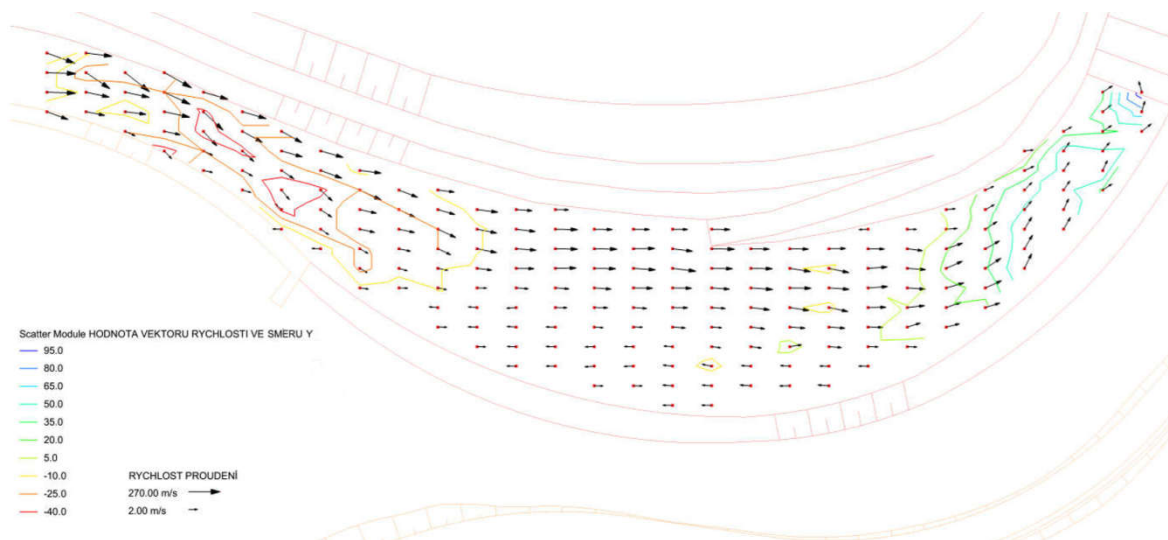


Obr. 27. Zobrazení x-ových složek rychlosti

6.8 Vyhodnocení y-ových složek rychlosti

Pátá vykreslená mapa y-ových složek rychlosti vychází taktéž z dat naměřených UVP Monitorem, ale v y-ovém směru. Na mapě na Obr. 28 je vidět příčné proudění ve směru y, ale nelze zde rozpoznat hlavní proudnici. Rychlost vody je zaznamenána v první třetině prostoru, ale záhy se stává v druhé třetině marginální a objevuje se opět v třetí třetině, kde narůstá do nejvyšších hodnot, ale v opačném směru než předchozí příčné proudění. Pro představu je na něm šipkami zobrazena i rychlost celkového proudění.

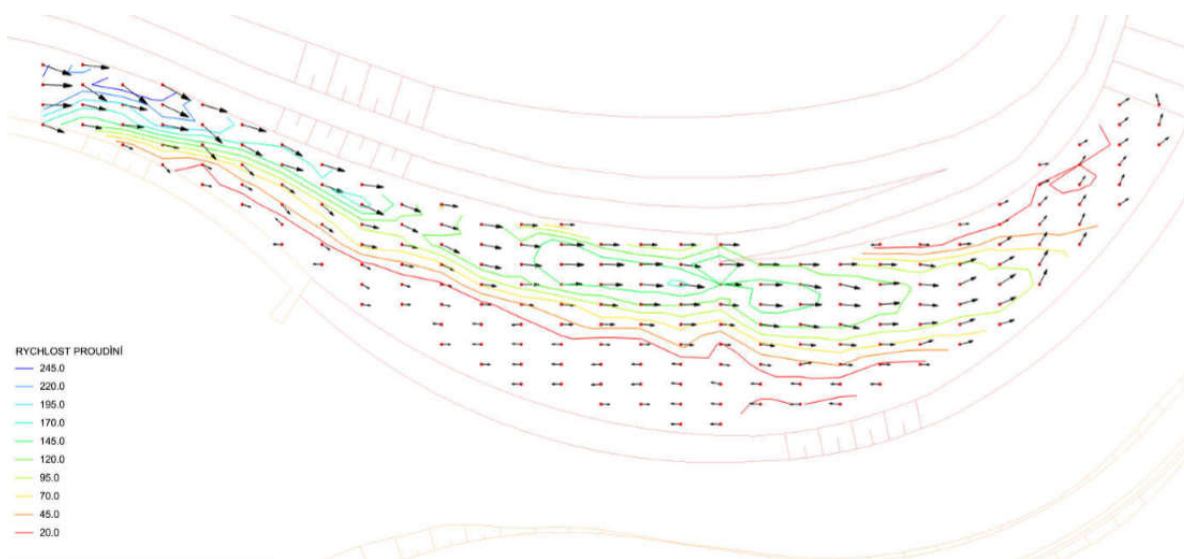
Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 28. Zobrazení y-ových složek rychlosti

6.9 Vyhodnocení celkové rychlosti

Šestá vykreslená mapa celkových složek rychlosti (ve vodorovném směru) vychází z předchozích map v x-ovém a y-ovém směru. Na mapě na Obr. 29 už je vidět výsledné rychlostní pole (izotachy a vektory) a lze už zřetelně rozpoznat hlavní oblasti proudění. Rychlost vody je na začátku v celém profilu koryta nejvyšší, ale záhy se rozděluje a pomyslně dělí profil na rychlou část, kde je proud a pomalou část, kde je minimální proudění. Je zde klidová zóna. První dvě třetiny prostoru je zachováno toto rozdělení s tím, že rychlost v proudící části jen velmi pozvolna klesá. Ve druhé třetině prostoru je proud pouze mírný, ale zato rozdělen do celého příčného koryta.

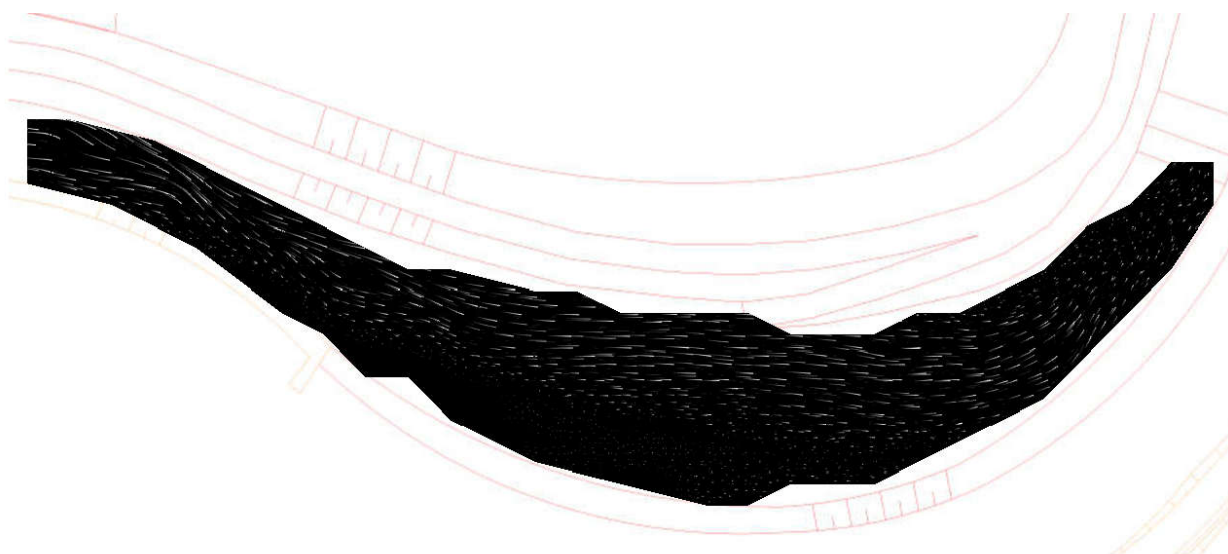


Obr. 29. Zobrazení celkových složek rychlosti

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

6.10 Vyhodnocení trajektorie částic

Sedmá vykreslená mapa trajektorie částic na Obr. 29 vychází z předchozí mapy celkových složek rychlosti. Na mapě už je výsledný pohyb splavenin ve skutečném směru a rychlosti. Mapa má velmi podobný průběh dějů jako mapa celkových rychlosti. Rychlost částice je podobně jako u komety na obrázku znázorněna ohonem, který je tím delší, čím se pohybuje částice rychleji. Je jasné patrné, kde částice ztrácí svou rychlost a musejí zákonitě klesnout na dno.



Obr. 30. Zobrazení trajektorie částic

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

7. Přepočet změřených veličin na prototyp

Nyní je nutné převést modelové měřítko na skutečnou velikost podle příslušných rovnic. Nejdůležitějším požadavkem na převod z fyzikálního modelu bylo, aby co nejvěrohodněji simuloval proudění vody a dnových splavenin ve skutečném navrhovaném objektu.

7.1 Měřítko modelu

Vybudování fyzikálního modelu prostor pro usazování dnových splavenin a navazujících a úseků koryta s pohyblivým dnem bylo provedeno v měřítku 1:30 (Zachoval, 2016). Model byl navržen prostorově nezkreslený, tedy geometricky podobný (vztaženo k souřadnému systému x, y, z).

$$M_{lx} = M_{ly} = M_{lz} = M_l = 30 \quad (7.1)$$

Přepočet byl proveden dle Froudova kritéria

$$Fr = \frac{v}{(g \cdot l)^{1/2}}, \quad (7.2)$$

tedy na základě principu dominantní síly, kterou je síla tíhová F_g .

V případě použití stejné kapaliny (na modelu i na prototypu $\rho = \text{konst.}$, $\nu = \text{konst.}$), stejné hustoty zrn ρ_s a při působení stejného zrychlení g , byly pomocí délkového měřítka M_l určeny ostatní uvažované veličiny dle Tab. 1. Přepočet veličiny z modelu X_m na prototyp X_p pak je možné provést dle vztahu

$$X_p = M_x \cdot X_m. \quad (7.3)$$

Tab. 1 Vyjádření měřítka vybraných veličin M_x měřítkem délky dle Froudova kritéria

Veličina	Označení	Rozměr	Měřítko	Hodnota
Délka	l	L	M_l	30
Plocha	S	L^2	M_l^2	900
Objem	V	L^3	M_l^3	27000
Čas	t	T	$M_l^{1/2}$	5,48
Rychlost	v	LT^{-1}	$M_l^{1/2}$	5,48
Zrychlení	a	LT^{-2}	1	1
Průtok	Q	L^3T^{-1}	$M_l^{5/2}$	4930
Specifický průtok	q	L^2T^{-1}	$M_l^{3/2}$	164
Hmotnost	m	M	M_l^3	27000
Síla	F	MLT^{-2}	M_l^3	27000
Tlak	p	$ML^{-1}T^{-2}$	M_l	30
Energie a práce	E	ML^2T^{-2}	M_l^4	810000

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

7.2 Zrnitost materiálu v modelu

Zrnitost použitá na modelu musela být upravena tak, aby se při její transformaci na rozměr modelu neprojevil vliv soudržnosti (Čábelka a Novák, 1964). Soudržnost se projevuje u materiálů obsahujících zrna menší než cca 0,5 mm, proto musela být z modelu odstraněna. Důležitou roli při vymezení hranice v podobě rozměru minimálního zrna hraje i zastoupení jemnozrnné frakce v celku (Ettema, 2000).

Zrnitost materiálu použitého v modelu se opírala o ucelený soupis odběrů a vyhodnocených zrnitostí dna provedený Laboratoří vodohospodářského výzkumu ÚVST, FAST, VUT v Brně (Veselý a kol., 2002), který zahrnuje všechny dokumentované odběry do roku 2002.

Výše uvedené omezuje i přesnost stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin.

7.3 Průtok

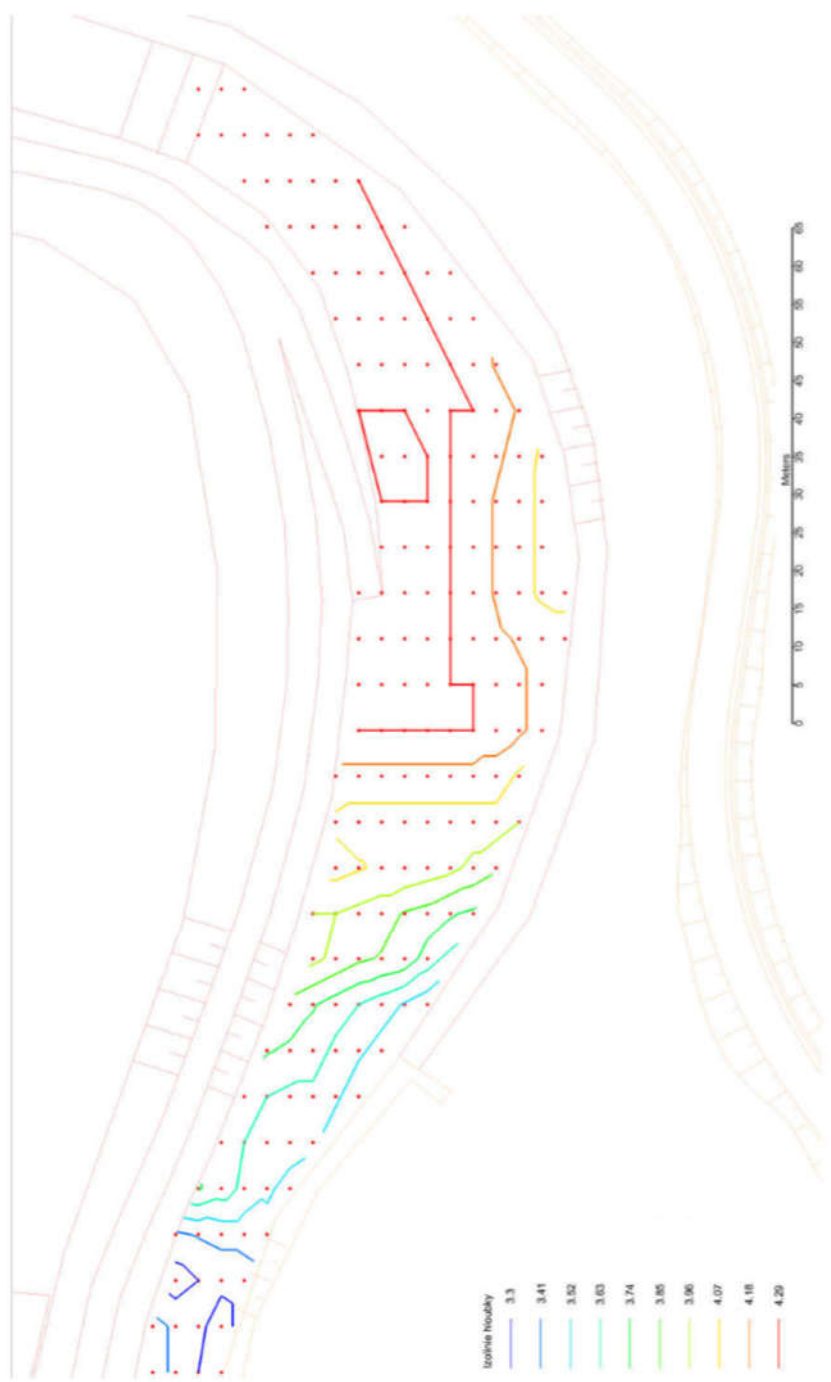
Modelově podobné průtoky jsou dány měřítkem modelu a mezními podmínkami podobnosti (Zachoval, 2016). Pro účely bakalářské práce byl použit průtok 5 l/s, který splňuje mezní podmínky podobnosti a odpovídá počátku pohybu splavenin v úseku nad objektem.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

8. Vykreslení mapy rychlostního pole, mapy trajektorií částic a mapy hloubek

8.1 Mapa hloubek

Výsledná mapa skutečných hloubek se pohybuje v rozmezí hloubek od 0 do 0,9 m. Více je zobrazeno na mapě skutečných hloubek na následujícím Obr. 31.

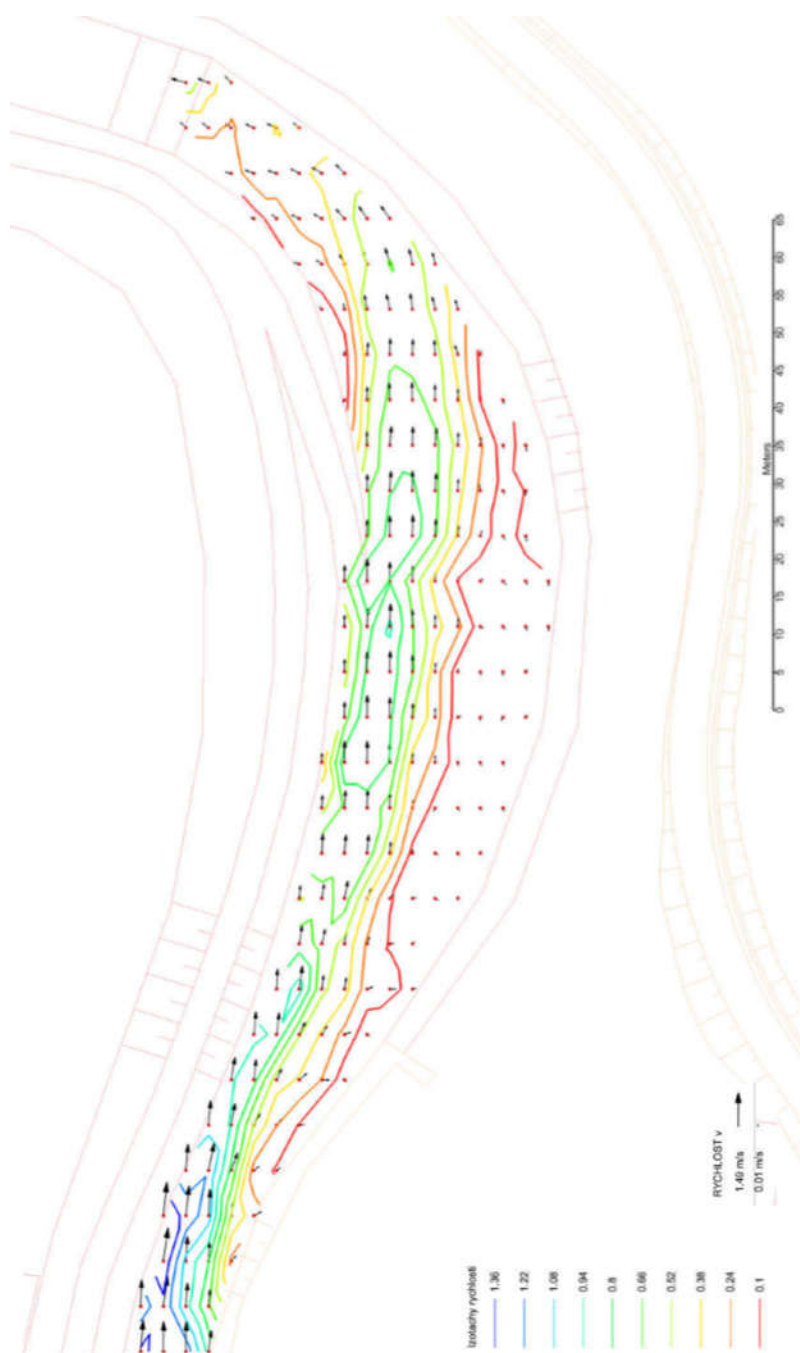


Obr. 31. Mapa hloubek

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

8.2 Mapa rychlostního pole

Výsledná mapa skutečného rychlostního pole potvrzuje správnost modelového řešení a ukazuje izolinie rychlosti v rozmezí 0,1 m/s až 1,36 m/s. Více je zobrazeno na mapě skutečného rychlostního pole na následujícím Obr. 32.

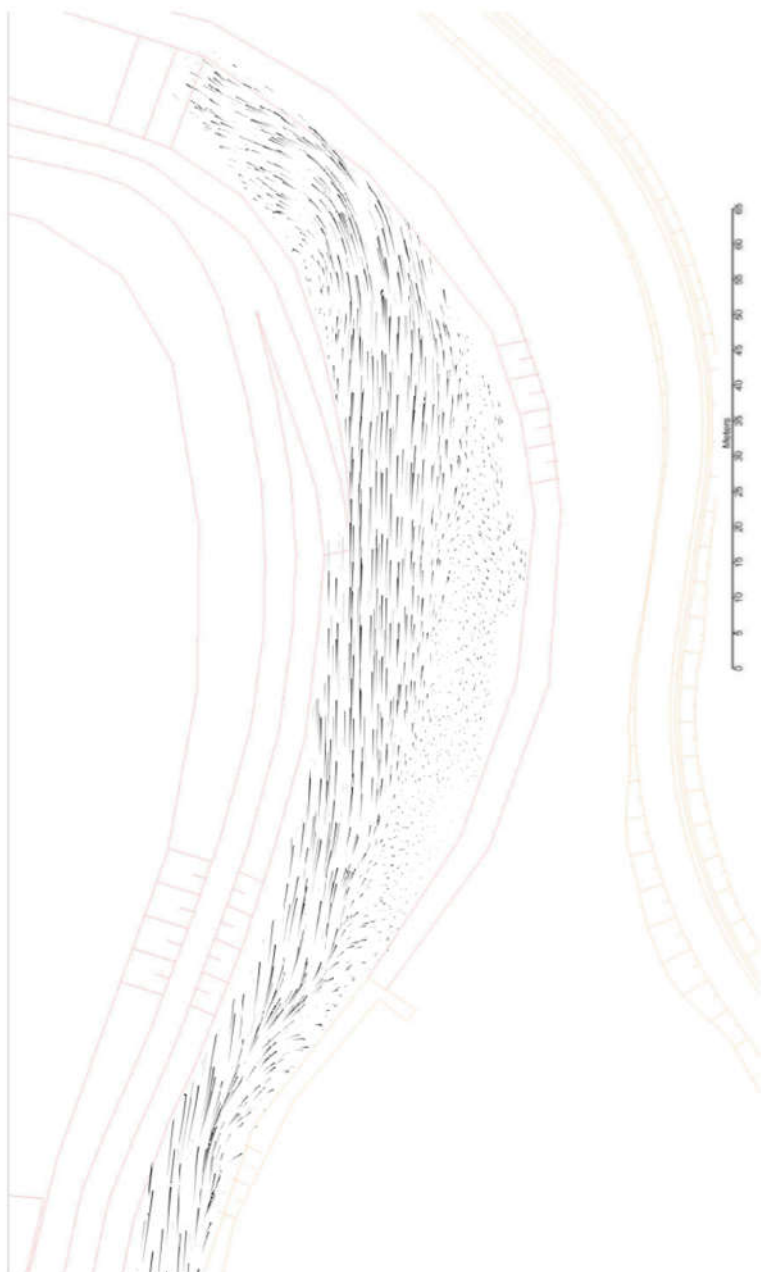


Obr. 32. Mapa rychlostního pole

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

8.3 Mapa trajektorií částic

Výsledná mapa skutečných trajektorií částic potvrzuje správnost modelového řešení. Více je zobrazeno na následujícím Obr. 33.



Obr. 33. Mapa trajektorií částic

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

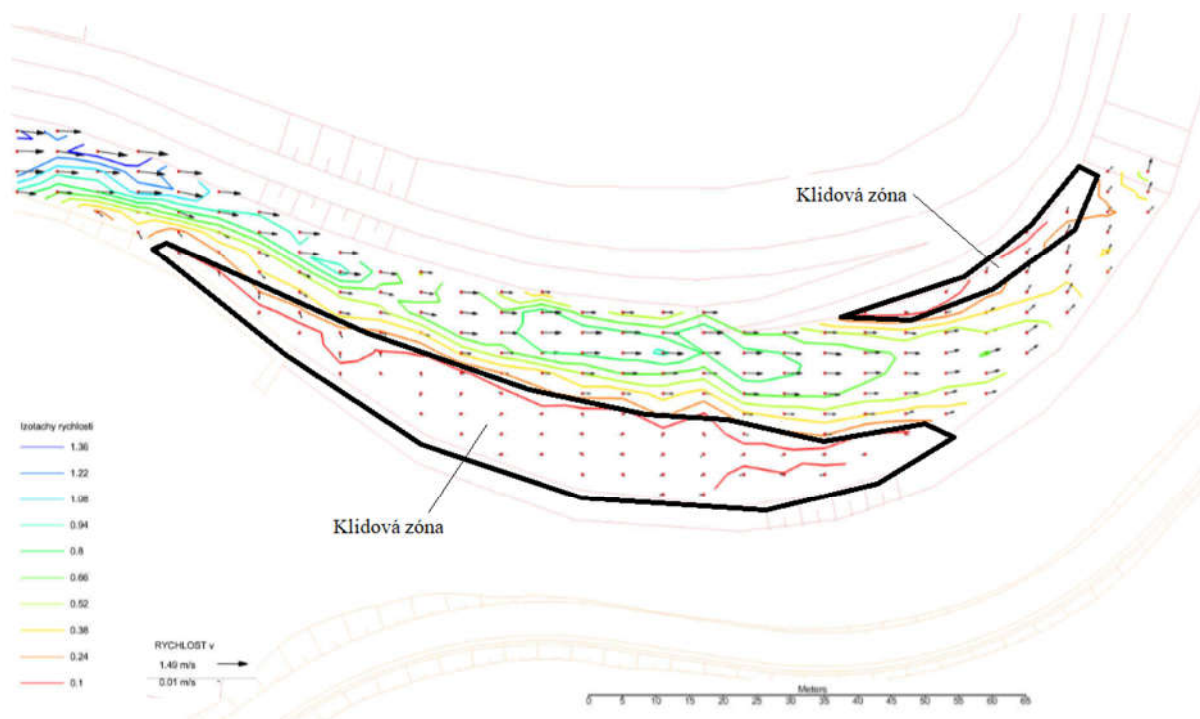
9. Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

9.1 Vyhodnocení mapových podkladů

Aktivní část usazovacího prostoru dnových splavenin bylo možno stanovit už pomocí mapy celkových rychlostí. Přesnější stanovení potom přinesla analýza mapy trajektorie částic. Z vyhotovených map jasně vyplývá následující skutečnost – proud se přiklání k levé části toku a v pravé části toku vzniká klidová zóna s pomalým prouděním – úplav. K usazování dnových splavenin docházelo v místech mezi klidovou zónou a proudem. Graficky je oblast znázorněna v následující kapitole.

9.2 Výstup z mapových podkladů

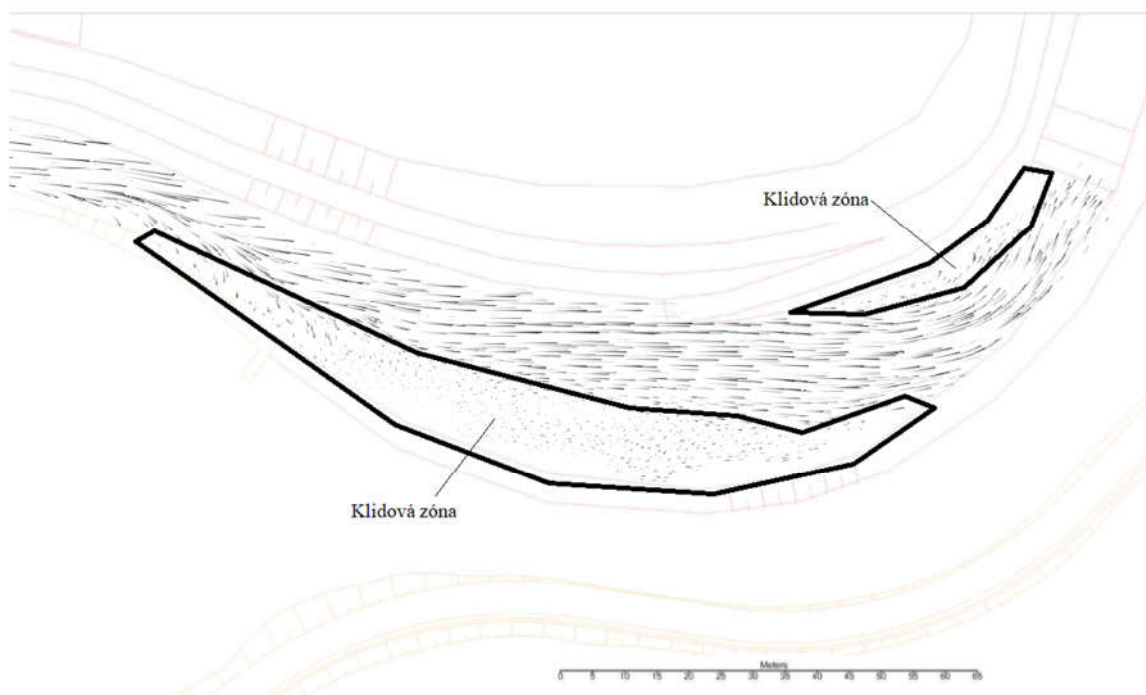
Už z mapy celkových složek rychlosti je možné usuzovat na oblasti, kde bude docházet k usazování splavenin. Aktivní část usazovacího prostoru dnových splavenin je zcela jistě v poli vysokých rychlostí, jak lze pozorovat na následujícím Obr. 31.



Obr. 34. Vyznačení zón na mapě celkových rychlostí

Z mapy trajektorie je také možné stanovit výsledný pohyb splavenin ve skutečném směru a rychlosti. Rychlost částice je na obrázku znázorněna ohonem. Oblasti s ním jsou aktivní. Naopak oblasti s malým pohybem nejsou aktivní a nemůže u nich za stávajících průtokových podmínek docházet k sedimentaci dnových splavenin, jak lze pozorovat na následujícím Obr. 32.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin



Obr. 35. Vyznačení zón na mapě trajektorie částic

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

10. Závěr a zhodnocení

V rámci bakalářské práce bylo měřeno na stávajícím fyzikálním modelu. Byl stanoven rast 0,1 m ve směru X a 0,2 m ve směru Y. Detailnější rastrová síť by přinesla podrobnější hodnoty, avšak zvolená postačovala ke splnění cíle. Zjištění rychlosti proudění v návrhovém usazovacím prostoru dnových splavenin vodní nádrže Nové Heřminovy bylo hlavním předpokladem k získání potřebných dat k stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin na fyzikálním modelu. Data byla vyhodnocena programem SMS. Informace z měření a vyhodnocení mohou být využity pro další posouzení usazovacího prostoru dnových splavenin. Výsledky ukazují, že transportovaný dnový sediment se při průtoku na počátku pohybu splavenin usazuje v prostoru vymezeném pro tento účel. Prostor má tu výhodu, že je dobře dostupný ze silnice nákladními automobily i těžkou technikou, což umožňuje v suchém období těžít sediment a to už z části roztříděný na jednotlivé frakce. V důsledku výstavby usazovacího prostoru dnových splavenin bude docházet k sedimentaci dnových splavenin v nádrži omezeně, bude se jednat především o částice původem z koryta pod objektem. Dojde k prodloužení životnosti nádrže a z dlouhodobého hlediska k ušetření nákladů za případnou těžbu v nádrži. Výhodou je i blízká silniční komunikace. Preventivní zachytávání dnových splavenin je žádoucí i z toho důvodu, že umožní lépe plánovat opatření nutná k provozu nádrže a zároveň přesněji sledovat pohyb splavenin, které jsou tokem unášeny. Z hodnocení stavba vychází jak plně funkční pro zkoušené podmínky a její pozitivní přínosy bude sklízet hlavně provozovatel nádrže Nové Heřminovy v podobě uspořené nákladů za odvoz sedimentů a provoz bez problémů způsobených sedimenty. Lze předpokládat, že část materiálu bude dále použitelná ve stavebnictví a zbytek zamezí tomu, aby pod vodní nádrží vznikala tzv. hladová voda bez splavenin, která není přírodě blízká a neposkytuje tudíž dostatek živin pro vodní organismy v pod hrází. Řešení splaveninového režimu umělým transportem po výstavbě hráze není dosud ve větší míře rozšířené ani odzkoušené a bude zajímavé zhodnotit účinky stavby v reálném provozu.

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

11. Seznamy

11.1 Seznam obrázků

Obr. 1.	Situace lokality (www. mapy.cz)	13
Obr. 2.	Celkový pohled na model	16
Obr. 3.	Horní část usazovacího prostoru.....	17
Obr. 4.	Střední část usazovacího prostoru	17
Obr. 5.	Dolní část usazovacího prostoru.....	18
Obr. 6.	Částice, kterými bylo modelováno dno	19
Obr. 7.	Částice, které byly přidávány do proudu	19
Obr. 8.	Digitální model terénu modelu (Zachoval, 2018) a vyznačený souřadný systém.20	
Obr. 9.	Měření úrovně dna pomocí hrotu připevněného na posuvném měřidle	21
Obr. 10.	Skládání složek vektorů (Manual Met- Flow SA, 2000).....	22
Obr. 11.	První stránka - nastavení parametrů měření	23
Obr. 12.	Druhá stránka při nastavení měřicího programu – nastavení parametrů měření ...	24
Obr. 13.	Výsledky měření jednoho směru v jednom bodě – průměry a statistické hodnoty 24	
Obr. 14.	Měřicí okno UVP Monitoru (Manual Met- Flow SA, 2000)	25
Obr. 15.	Lom na rozhraní - Fresnelův zákon (Manual Met- Flow SA, 2000).....	26
Obr. 16.	Zvukové pole generované převodníkem (Manual Met- Flow SA, 2000).....	27
Obr. 17.	Příklady délky blízkého pole ve vodě (Manual Met- Flow SA, 2000).....	27
Obr. 18.	Divergence paprsku v dalekém poli (Copyright 1999 by Met- Flow SA, 2000) ..	28
Obr. 19.	Převodník uchycený k digitálnímu posuvnému měřítku	29
Obr. 20.	Schéma řezu ultrazvukovým převodníkem (Manual Met- Flow SA, 2000)	30
Obr. 21.	Měřidlo vybavené hrotem a připevněné na konstrukci pojezdu.....	31
Obr. 22.	Vodorovný práh sloužící co by fixní bod při vtoku na fyzikální model.....	32
Obr. 23.	V popředí notebook pro zaznamenání údajů a v pozadí přístroj pro UVP-XW-PSi 33	
Obr. 24.	Úroveň dna	34
Obr. 25.	Úroveň hladiny	35
Obr. 26.	Hloubka	35
Obr. 27.	Zobrazení x-ových složek rychlosti.....	36
Obr. 28.	Zobrazení y-ových složek rychlosti.....	37
Obr. 29.	Zobrazení celkových složek rychlosti	37
Obr. 30.	Zobrazení trajektorie částic	38
Obr. 31.	Mapa hloubek	41
Obr. 32.	Mapa rychlostního pole	42
Obr. 33.	Mapa trajektorií částic	43
Obr. 34.	Vyznačení zón na mapě celkových rychlostí	44
Obr. 35.	Vyznačení zón na mapě trajektorie částic	45

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

11.2 Seznam zkratek

Zkratka	Název
Bpv	baltský – po vyrovnání
MS Excel	Microsoft Excel
UVP	Ultrasonic Velocity Profiling
SMS	Surface-water Modeling Systém
VUT v Brně	Vysoké učení technické v Brně

11.3 Seznam veličin

Symbol	Název	Jednotka
x	souřadnice	[m]
y	souřadnice	[m]
z	souřadnice	[m]
λ	Vlnová délka	[m]
c	Rychlost zvuku	[m/s]
f	Frekvence ultrazvuku	[Hz]
Z	Akustická impedance	[kg/(m ² · s)]
ρ	Měrná hmotnost	[kg/m ³]
c	Rychlost zvuku	[m/s]
t	Časové zpoždění mezi vyslaným a přijatým signálem	[s]
x	Vzdálenost odrazné částice od převodníku	[m]
P	Akustický tlak	[Pa]
P_0	Referenční akustický tlak na převodníku	[Pa]
α	Absorpční koeficient (též absorptivita)	[–]
γ_0	Úhel divergence paprsku (pro pokles -6 dB)	[°]
λ	Vlnová délka	[m]

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

D	Průměr aktivního elementu	[m]
f_d	Dopplerovský posun na částici	[Hz]
v	Rychlost směřující do osy převodníku (složka rychlosti)	[m/s]
f_0	Vysílací frekvence	[Hz]
N	Délka blízkého pole	[m]
D	Průměr aktivního elementu	[m]
f_0	Vysílací frekvence	[Hz]
ρ	Hustota	[kg/m ³]
ρ_s	Hustota zrna	[kg/m ³]
Q	Průtok vody (objemový průtok vody)	[m ³ /s]
Fr	Froudovo kritérium (číslo)	
Re	Reynoldsovo kritérium (číslo) ohraničující kvadratickou oblast	
Re_d	třetí Reynoldsovo kritérium (číslo) zrna	

11.4 Seznam tabulek

Tab. 1 Vyjádření měřítka vybraných veličin M_x měřítkem délky dle Froudova kritéria

Stanovení aktivní části usazovacího prostoru dnových splavenin

12. Literatura

- Aquaveo: Surface-water Modeling System [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://www.aquaveo.com/software/sms-surface-water-modeling-system/introduction>
- Čábelka, J., Gabriel, P. 1987. Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice. Praha: Academia.
- Čábelka, J., Novák, P. 1964. Hydrotechnický výzkum I. Modelový výzkum. Praha: SNTL/SVTL.
- Das Bertelsmann Lexikon. (2002). Universum. Praha: Euromedia Group k. s. - Odeon ISBN 80-207-1113-9.
- Ettema, R. 2000. Hydraulic Modeling. Concepts and Practice. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 97, Reston, USA: ASCE. ISBN 0-7844-0415-1.
- Manual Met-Flow SA. (2000). Avenue Mon-Repos 14. Lausanne, Switzerland: Testcenter Zurich AG.
- Met-Flow S.A., 2002. UVP Monitor – Model UVP-XW-PSi with new software version 3. User's guide. Lausanne: Met-Flow S.A.
- Seznam mapy. [online]. [cit. 2018-5-11]. Dostupné z: <https://www.mapy.cz/>
- Veselý, J., Maleňák J., Pařílková J., Zachoval Z. 2002. Souhrnné hodnocení splaveninového průzkumu hlavních toků v Povodí Odry, s.p. Granulometrická skladba dna vodních toků v povodí Odry. Souhrn výsledků výzkumů provedených v letech 1952 až 2002. Brno: LVV ÚVST FAST VUT v Brně.
- Zachoval, Z. a kol. 2016. Hydraulický modelový výzkum prostoru pro sedimentaci říčních splavenin v horní části zátopy VD Nové Heřminovy. Opatření na Horní Opavě, příprava akce v období 2013-2016. Závěrečná zpráva. VUT v Brně, FAST, ÚVST, LVV.